

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de
INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA
ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE
CALENTAMIENTO DE AGUA UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR Y
ELÉCTRICA PARA USO DOMÉSTICO.**

**AUTOR
HERNÁNDEZ CRESPO XAVIER ANDRÉS
VERGARA SERRANO DAVID MAURICIO**

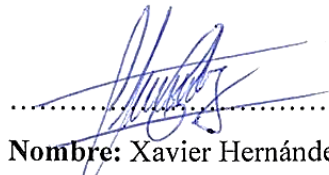
**TUTOR
QUITIAQUEZ SARZOSA WILLIAM GIOVANNY**

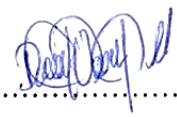
Quito, marzo del 2017

Cesión de derechos de autor

Nosotros, Xavier Andrés Hernández Crespo con documento de identificación N° 1718012360 y David Mauricio Vergara Serrano con documento de identificación N° 1723423636, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado/titulación intitulado: “Análisis costo beneficio de un sistema híbrido de calentamiento de agua utilizando energía solar y eléctrica para uso doméstico”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado por la ley de propiedad intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.


.....
Nombre: Xavier Hernández Crespo
Cédula: 1718012360

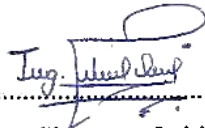

.....
Nombre: David Vergara Serrano
Cédula: 1723423636

Quito, marzo de 2017

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE CALENTAMIENTO DE AGUA UTILIZANDO ENERGÍA SOLAR Y ELÉCTRICA PARA USO DOMÉSTICO realizado por Xavier Andrés Hernández Crespo y David Mauricio Vergara Serrano, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2017



.....
Ing. William Giovanny Quitiaquez Sarzosa M.Sc.
C.C. 1721609764

Dedicatoria

Este proyecto lo dedico a la memoria de Juanita, mi abuelita que me acompaña con su bendición, a mis padres por la confianza depositada en mí para alcanzar este paso tan importante en mi vida, a mis hermanos por su apoyo brindado, a mis sobrinas que este logro sea un ejemplo para ellas.

Xavier

A Dios.

Por haberme dado la salud y la perseverancia para lograr cumplir con esta meta planteada.

A mi madre Nancy y a mi padre Marcos.

Por su apoyo incondicional, sus consejos, sus enseñanzas, su ayuda que me han permitido ser una persona de bien, pero sobre todo por su amor.

A mis familiares.

A Oswaldo Espinosa por su apoyo y la confianza depositada en mí, a mi tía Patricia por sus consejos, mi hermano por estar siempre presente, a mis tíos y a mi querido Chester que fue mi compañía en las largas noches de estudio.

David

Agradecimiento

A DIOS que me dio sabiduría y fortaleza, a mis padres por el esfuerzo que realizaron para que yo pueda culminar mi carrera, a esta institución universitaria y a sus docentes por los conocimientos impartidos para formarnos como excelentes profesionales.

A todos los que de alguna manera nos ayudaron en la realización del proyecto, amigos, familiares, docentes que a través del transcurso de nuestra formación profesional nos ayudaron a la culminación de este proyecto.

A nuestro tutor, el Ing. William Giovanny Quitiaquez Sarzosa quien estuvo al pendiente de la realización del presente proyecto de titulación y aportó con sus conocimientos acertados para que este trabajo tenga una óptima culminación.

Xavier y David

Índice

CONTENIDO

Introducción	18
CAPÍTULO 1	19
FUNDAMENTO TEÓRICO	19
1.1 Energía solar	19
1.1.1 Radiación solar	19
1.1.2 Ventajas y desventajas	21
a) Ventajas	21
b) Desventajas	21
1.1.3 Radiación solar en Quito.....	22
1.2 Estudio de la Energía Eléctrica en Ecuador	25
1.3 Estudio del Gas Licuado de Petróleo (GLP) en Ecuador	34
1.4 Impacto Ambiental en el Ecuador	40
1.5 Diagrama causa efecto.....	41
1.6 Análisis de alternativas.....	42
CAPÍTULO 2	48
DISEÑO DEL SISTEMA	48
2.1 Diseño del sistema de calentamiento de agua	48
2.2 Temperatura y velocidad media del aire en Quito.....	48
2.3 Análisis de la demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS)	49
2.4 Análisis de condiciones de energía solar en el sitio y superficies	50
2.5 Radiación solar	51
2.6 Cálculo de pérdidas de calor en el tanque de almacenamiento de agua.....	59
2.7 Análisis del rendimiento energético en el colector solar.....	71
2.8 Pérdidas de calor en el colector solar	74

2.9	Sistema de apoyo del calentador solar.....	82
2.9.1	Selección de la resistencia eléctrica	83
2.10	Pérdidas hidráulicas en el sistema	88
2.11	Pérdida de carga en tubería de agua fría.....	89
2.12	Pérdida de carga en tubería de agua caliente	93
CAPÍTULO 3		95
ANÁLISIS DE RESULTADOS		95
3.1	Análisis de resultados	95
3.2	Esquema general del sistema.....	113
3.3	Colector solar y Tanque de almacenamiento.....	114
-	Colector Solar:.....	114
-	Tanque de almacenamiento:.....	115
3.4	Sistema de regulación y control	115
-	Controlador solar SR609C:	115
-	Sensor de temperatura:	117
-	Relé de control del sistema solar:.....	117
3.5	Tiempo de duración del agua caliente en el tanque.....	120
CAPÍTULO 4		122
ANÁLISIS ECONÓMICO		122
4.1	Análisis Económico.....	122
4.2	Amortización del sistema	125
4.2.1	Ahorro GLP	125
4.2.2	Ahorro Energía Eléctrica	125
4.3	Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR).....	126
4.4	Flujo Efectivo	127
4.5	Valor Presente Neto (VPN)	128
4.6	Valor Actual Neto (VAN)	128

4.7	Tasa Interna de Retorno (TIR)	129
4.8	Payback.....	129
4.9	Relación Beneficio-Costo (B/C).....	129
Conclusiones		131
Recomendaciones.....		132
ANEXOS		

Índice de tablas

Tabla 1. Demanda de Energía eléctrica en Empresa Eléctrica Quito (E.E.Q) por grupo de consumo.....	31
Tabla 2. Demanda de Energía eléctrica en Pichincha por grupo de consumo.....	32
Tabla 3. Facturación de energía eléctrica en la provincia de pichincha	33
Tabla 4. Conformación de la oferta de gas licuado de petróleo	36
Tabla 5. Venta de comercialización de gas licuado de petróleo y segmento de consumo en pichincha	37
Tabla 6. Subsidios periodo 2012-2015	38
Tabla 7. Emisiones de GEI por actividad (kt CO ₂ equivalentes) en el año 2014	40
Tabla 8. Selección de alternativas evaluación cuantitativa.....	46
Tabla 9. Selección de alternativas evaluación cuantitativa.....	48
Tabla 10. Criterio de demanda de ACS	49
Tabla 11. Selección de un día (n) del año.....	52
Tabla 12. Coeficiente de conductividad térmica	62
Tabla 13. Valores k para latitud=0°	73
Tabla 14. Pliego tarifario enero 2016	86
Tabla 15. Evaluación del rendimiento del equipo a 18° y 45°	98
Tabla 16. Temperaturas del agua dentro del tanque	99
Tabla 17. Temperaturas exteriores del tanque	100
Tabla 18. Temperaturas superficies colector	101
Tabla 19. Temperaturas del agua dentro del tanque	102
Tabla 20. Temperaturas exteriores del tanque	103
Tabla 21. Temperaturas superficies colector	104
Tabla 22. Temperaturas del agua dentro del tanque	105
Tabla 23. Temperaturas exteriores del tanque	106
Tabla 24. Temperaturas superficies colector	107
Tabla 25. Temperaturas del agua a la salida	108
Tabla 26. Temperaturas exteriores del tanque	109
Tabla 27. Temperaturas superficies colector	110
Tabla 28. Temperaturas del agua a la salida	111
Tabla 29. Temperaturas exteriores del tanque	111
Tabla 30. Temperaturas superficies colector	112

Tabla 31. Costos de elementos que conforman del sistema solar.....	123
Tabla 32. Costos de elementos de plomería	123
Tabla 33. Costos de elementos de electricidad	124
Tabla 34. Costos de elementos varios.....	124
Tabla 35. Síntesis de resultados proyecto panel solar	130

Índice de figuras

Figura 1. Plano Inclinado recibe tres tipos de radiación solar	20
Figura 2. Radiación solar en algunos países del mundo.	21
Figura 3. Radiación solar en algunas provincias del Ecuador	23
Figura 4. Insolación Global Anual Promedio	24
Figura 5. Información De Insolación Global	25
Figura 6. Evolución del consumo de energía por sectores	26
Figura 7. Evolución del consumo de energía por sectores	27
Figura 8. Demanda de energía por fuente	28
Figura 9. Producción de ERNC en el año 2014.....	30
Figura 10. Consumo de energía en ecuador sector residencial	31
Figura 11. Demanda de energía de Empresa Eléctrica Quito	32
Figura 12. Demanda de energía eléctrica en la provincia de Pichincha	33
Figura 13. Presentación gas licuado de petróleo (GLP)	34
Figura 14. Segmentos de mercado de gas licuado de petróleo	35
Figura 15. Conformación de la oferta de gas licuado de petróleo	36
Figura 16. Venta de comercialización de gas licuado de petróleo y segmento de consumo en.....	38
Figura 17. Precio de gas licuado de petróleo (GLP) doméstico en países vecinos y de Europa.....	39
Figura 18. Panel solar placa plana	43
Figura 19. Panel solar tubo de vacío flujo directo	43
Figura 20. Panel solar tubo de vacío Heat pipe	44
Figura 21. Selección de alternativas evaluación cuantitativa	47
Figura 22. Captura de pantalla google maps, indicando latitud y longitud del lugar del proyecto.	50
Figura 23. Ángulo cenital y puesta sol respecto a la normal del plano horizontal	53
Figura 24. Distribución de temperatura para una pared cilíndrica compuesta	60
Figura 25. Circuito térmico equivalente para una pared compuesta en serie.	63
Figura 26. Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el fluido circundante.	66
Figura 27. Transferencia de calor por radiación entre una superficie y las superficies que la circulan.....	70

Figura 28. Balance de Energía en un colector solar	71
Figura 29. Radiación incidente sobre una superficie transparente	72
Figura 30. Coeficientes de pérdidas térmicas en el colector solar.....	74
Figura 31. Caudal instantáneo de agua para las diferentes horas del día.....	83
Figura 32. Resultados obtenidos mediante Crazy calculations.....	87
Figura 33. Coeficientes de resistencia a 45°	90
Figura 34. Coeficientes de resistencia codo 90°	90
Figura 35. Coeficientes de resistencia tes “T”	91
Figura 36. Temperaturas promedio del agua dentro del tanque.	96
Figura 37. Temperatura de la superficie del tanque.....	97
Figura 38. Temperatura en la cubierta del colector.	97
Figura 39. Rendimiento de equipo.....	99
Figura 40. Temperatura del agua dentro del tanque.	100
Figura 41. Temperaturas exteriores del tanque.....	101
Figura 42. Temperaturas superficie colector	102
Figura 43. Temperaturas del agua dentro del tanque.....	103
Figura 44. Temperatura exterior del tanque.....	104
Figura 45. Temperaturas superficie colector	105
Figura 46. Temperaturas del agua dentro del tanque.....	106
Figura 47. Temperaturas exteriores del tanque.....	107
Figura 48. Temperaturas superficie colector	108
Figura 49. Temperaturas del agua a la salida.....	109
Figura 50. Temperaturas exteriores del tanque.....	110
Figura 51. Temperaturas superficie colector	110
Figura 52. Temperaturas del agua a la salida.....	111
Figura 53. Temperaturas exteriores del tanque.....	112
Figura 54. Temperaturas superficie colector	112
Figura 55. Esquema general del sistema.....	113
Figura 56. Esquema colector solar y tanque de almacenamiento.	114
Figura 57. Indicadores del display del SR609C	115
Figura 58. Controlador solar SR609C	116
Figura 59. Sensor de temperatura utilizado en el sistema.....	117
Figura 60. Diagrama de conexión del relé con controlador SR609C.	118
Figura 61. Diagrama del sistema solar.....	119

Figura 62. Cálculo de duración de agua caliente en la ducha.....	120
Figura 63. Resultados obtenidos	121

Índice de ecuaciones

Ec.1.....	51
Ec.2.....	51
Ec.3.....	52
Ec.4.....	53
Ec.5.....	54
Ec.6.....	54
Ec.7.....	55
Ec.8.....	56
Ec.9.....	56
Ec.10.....	57
Ec.11.....	57
Ec.12.....	58
Ec.13.....	58
Ec.14.....	59
Ec.15	59
Ec.16.....	61
Ec.17.....	61
Ec.18.....	61
Ec.19.....	64
Ec.20.....	64
Ec.21.....	65
Ec. 22.....	67
Ec. 23.....	67
Ec. 24.....	67
Ec. 25.....	69
Ec.26.....	70
Ec. 27.....	72
Ec. 28.....	73
Ec.29.....	74
Ec.30.....	75
Ec.31.....	75
Ec.32.....	75
Ec.33.....	75

Ec.34.....	77
Ec.35.....	77
Ec.36.....	78
Ec.37.....	78
Ec.38.....	79
Ec.39.....	79
Ec.40.....	81
Ec.41.....	81
Ec.42.....	82
Ec.43.....	83
Ec.44.....	84
Ec.45.....	85
Ec.46.....	86
Ec.47.....	88
Ec.48.....	89
Ec.49.....	89
Ec.50.....	91
Ec.51.....	91
Ec.52.....	92
Ec.53.....	126
Ec.54.....	128

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo realizar un análisis costo beneficio de un sistema híbrido de calentamiento de agua para uso doméstico, que utilice energía solar y un sistema auxiliar de apoyo que utilice energía eléctrica para su funcionamiento, eliminando por completo el uso de gas licuado de petróleo (GLP) que actualmente es el método más utilizado para el calentamiento de agua sanitaria aun sin ser el más eficiente, el presente será utilizado en una familia de 4 personas y estará ubicado en el sector norte de la ciudad de Quito.

Para poder realizar el diseño y construcción se contemplarán 4 capítulos en total, en los cuales se encuentra cada elemento que será útil para la correcta realización del presente proyecto, siendo detallado cada uno de ellos de la forma a continuación:

- Capítulo 1, se podrá encontrar las condiciones actuales del Ecuador en radiación solar, consumo eléctrico, consumo de gas licuado de petróleo y el impacto ambiental que se está produciendo actualmente, conceptos importantes que ayudarán a comprender el proceso investigativo desarrollado, Se dispone de un análisis de alternativas que evalúan de forma cualitativa las distintas opciones y selecciona la mejor alternativa.
- Capítulo 2, contiene los diferentes cálculos relacionados con el diseño del proyecto haciéndolo más óptimo para las necesidades presentadas, como son la radiación teórica en el sitio donde estará ubicado el sistema, las diferentes perdidas de energía entre otros datos obtenidos teóricamente.
- Capítulo 3, se evalúan los resultados obtenidos mediante el proceso de funcionamiento del sistema considerándolo como el tiempo de prueba, el cual tiene la finalidad de observar los distintos comportamientos presentados a lo largo del desempeño del sistema.
- Capítulo 4, presenta un análisis costo beneficio del sistema, los valores que incurren en la implementación del sistema y demostrando la viabilidad de que el proyecto será considerado como el método más óptimo para diferentes condiciones presentadas.

Completando estos capítulos los objetivos propuestos podrán ser alcanzados y demostrar que el proyecto es óptimo para su utilización.

Palabras claves: análisis, costo, sistema, calentamiento, agua, energía, doméstico.

Abstract

The present project aims to make a cost-benefit analysis of a hybrid water heating system for domestic use, using solar energy and an auxiliary support system that uses electrical energy for its operation, completely eliminating the use of liquefied gas of petroleum (LPG), which is currently the most used method for heating sanitary water even though it is not the most efficient, the present will be used in a family of 4 people and will be located in the northern sector of the city of Quito.

In order to be able to carry out the design and construction, 4 chapters will be considered in total, in which each element will be useful for the correct realization of the present project, being detailed each one of them as follows:

- Chapter 1, presents Ecuador's current conditions in solar radiation, electricity consumption, consumption of liquefied petroleum gas and the environmental impact that is currently occurring, important concepts that will help to understand the developed research process, an analysis is available of alternatives that qualitatively evaluate the different options and select the best alternative.
- Chapter 2, contains the different calculations related to the design of the project making it more optimal for the needs presented, such as the theoretical radiation in the site where the system will be located, the different energy losses among other data obtained theoretically.
- Chapter 3, are evaluated the results obtained through the process of operating the system considering it as the test time, which has the purpose of observing the different behaviors presented throughout the system performance.
- Chapter 4, presents a cost-benefit analysis of the system, the values that implement the system, and demonstrating the feasibility that the project will be considered as the most optimal method for different conditions presented.

Completing these chapters, the proposed objectives can be achieved and demonstrate that the project is optimal for its use.

Keywords: analysis, cost, system, heating, water, energy, domestic.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene por objetivo realizar un análisis costo beneficio de un sistema híbrido de calentamiento de agua que utilice energía solar versus un sistema que utilice energía eléctrica para su funcionamiento el cual será utilizado en una familia de 4 personas.

Para lo cual se hará un estudio del estado de arte de los sistemas de calentamiento de agua sanitaria, se diseñara y construirá los componentes del sistema híbrido en función de las condiciones de radiación solar en la Ciudad de Quito.

Se analizara los resultados obtenidos mediante la implementación del sistema, considerando factores como consumo de electricidad, cantidad de agua caliente generada, tiempo de calentamiento y temperaturas alcanzadas.

La implementación de este proyecto surgió por el plan de gobierno de eliminar el subsidio del gas licuado de petróleo (GLP) que se mantendrá hasta el 2017, empezando el 2018 a comercializarse a precios internacionales. (Comercio, 2014) siendo esto un motivo para dejar de usar este tipo de combustible, los cuales en su mayoría eran utilizados para la cocción de alimentos y el calentamiento de agua, dejando como opción la utilización de energías alternativas como es la energía solar y eléctrica.

El impacto económico del proyecto en las familias que adopten este sistema será considerable ya que el subsidio se suspende y el cilindro llegará al precio internacional de \$16,50 (Comisión Nacional de los mercados y las competencias , 2015), obteniendo como resultado el aumento de casi 10 veces su precio.

Por esta causa, el análisis costo beneficio mediante los métodos financieros del VAN, TIR y R B/C, da como resultado un proyecto viable y se obtiene un ahorro de USD 246 anuales por familia además de ser amigable con el medio ambiente por no utilizar combustibles fósiles.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 Energía solar

Esta energía renovable es entregada por el sol, el cual cumple la función de un cuerpo negro que proporciona energía, con ciertas formas de aprovecharla y recogerla se la puede transformar en energía calórica y eléctrica. Para darle un uso acorde a las necesidades de la población. (International Energy Agency, 2011, pág. 31)

Para este proyecto se aprovechó la radiación solar proveniente del sol, mediante dispositivos que transforman las radiaciones solares en energía calórica que es cedida para el calentamiento de agua para un consumo doméstico.

1.1.1 Radiación solar

Las radiaciones solares son espectros electromagnéticos que son emitidos por el sol y que están comprendidas entre el infrarrojo y el ultravioleta, siendo el ultravioleta la radiación más corta que es absorbida mayormente por el ozono que es un gas que se presenta en la atmósfera. (Samaniego Rascón, Ferrera D., & Gameiro da Silva, 2016, pág. 1)

La radiación que alcanza a llegar a la tierra tiene muchos factores que la determina como son: la latitud, la declinación, el huso horario, la constante solar (John & Mike, 2013, pág. 49).

La irradiación es la unidad de medida de la radiación y se presenta en watts sobre metro cuadrado (W/m^2) (Chris, 2010, pág. 15), es la magnitud que mide la cantidad de espectros electromagnéticos que absorbe la tierra. El valor de la irradiación depende de la dirección con la cual llegan los rayos solares y considerando el ángulo que se forma con la normal sobre la superficie de la tierra. (Chen, 2011, pág. 109)

- **Radiación directa.**

Son los espectros que salen del sol e inciden de forma directa sin presentar afección por parte de algún componente atmosférico, sin tener ninguna variación en su dirección (Chen, 2011, pág. 41), los espectros de radiación directa dependen directamente de la longitud de trayectoria del haz solar y a nivel del mar la radiación directa no supera el 75% de la constante solar. (John & Mike, 2013, pág. 59).

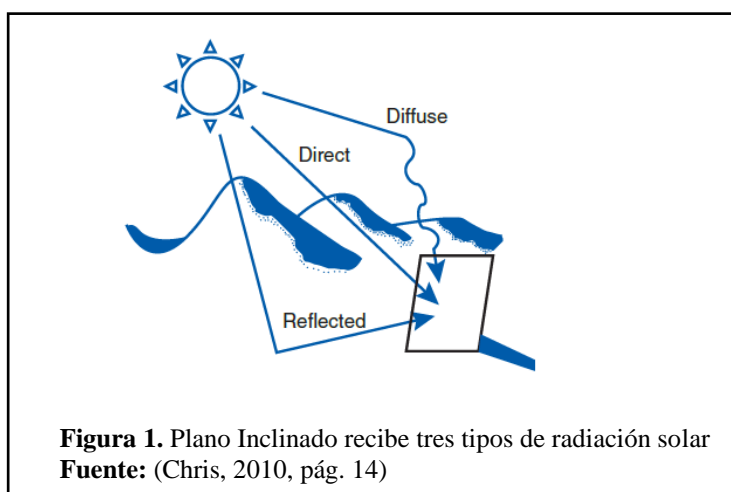
La radiación directa del sol que incide sobre una superficie horizontal se denomina insolación. (Chris, 2010, pág. 26)

- **Radiación difusa.**

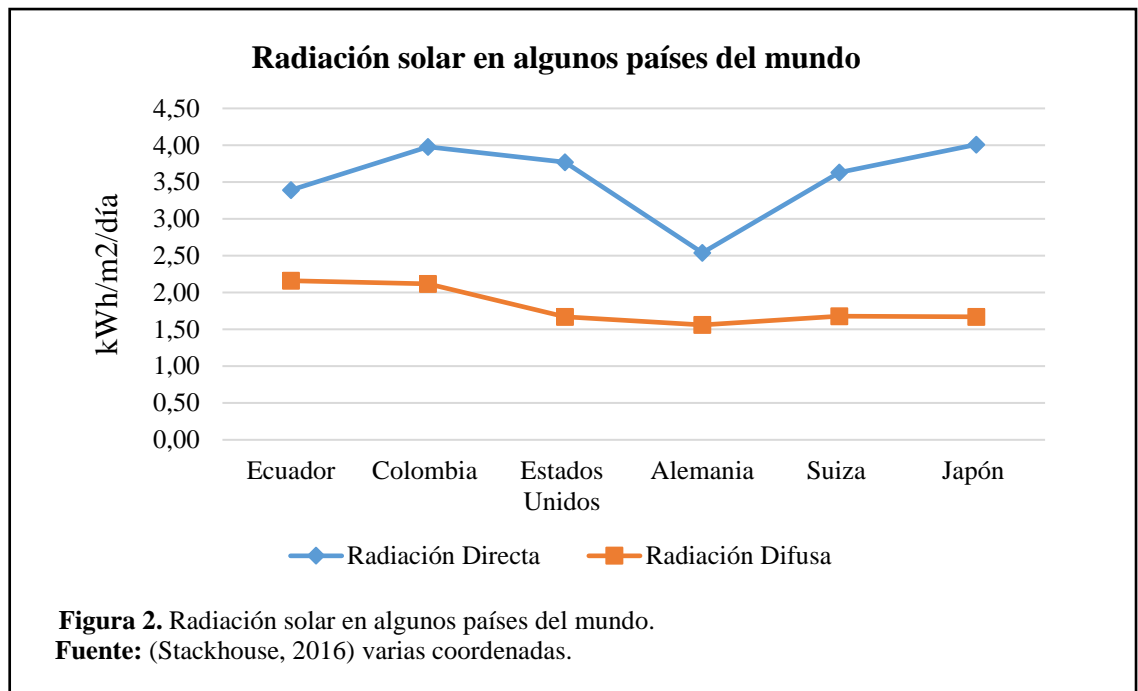
Esta radiación presenta absorciones y reflexiones lo cual produce que sus radiaciones vayan en forma dispersa y sean relegadas y absorbidas por las nubes y los gases. (Chwieduk, 2014, pág. 8), en un cielo sin nubes la radiación difusa es dominante del espectro visible, conforme el cielo se llena de nubes la longitud de onda y el espectro visible disminuye. (John & Mike, 2013, pág. 61)

- **Radiación reflejada (albedo).**

Es la radiación que se refleja por las superficies terrestres, que se presenta como una luz blanca o de color pálido. (Chwieduk, 2014, pág. 8), la radiación reflejada es similar a un espejo, un haz de luz incide formando un ángulo con respecto a la normal y se refleja un ángulo complementario. (John & Mike, 2013, pág. 44)



En la figura 2 se aprecia valores promedio de radiación directa y difusa, de algunos países los cuales se encuentran en distintas coordenadas a lo largo del mundo.



1.1.2 Ventajas y desventajas

a) Ventajas

- Una de las mayores ventajas que representan que es un recurso ilimitado y renovable, lo que significa que nuestra dependencia hacia los combustibles fósiles será menor.
- Al no requerir combustibles fósiles, no produce contaminación por su uso algo que beneficia al planeta y a todos que habitamos en él.
- Es una energía que está en pleno apogeo y cada día hay más personas, empresas que le dan una oportunidad por la importancia de utilizar energía limpia.
- La energía solar fotovoltaica no requiere de mucho espacio con lo que se puede instalar en tejados o en terrazas y edificios con lo que le hacen ideal para hogares.

b) Desventajas

- Por lo general se necesita de una inversión inicial mayor comparados con otras alternativas, pero no existen costos posteriores.
- El nivel de radiación solar fluctúa dependiendo de la zona, por lo que algunos consumidores no terminan de convencer este tipo de energía.
- Los paneles solares más eficientes para que esta aplicación son demasiado costosos.
- Este tipo de energía se debe complementar con otro sistema como la energía eléctrica para que sea mucho más fiable de cara al consumidor.

1.1.3 Radiación solar en Quito

El Ecuador tiene una ubicación geográfica en la línea ecuatorial, esto indica que su área está dispuesta en dos hemisferios y en el centro de los polos norte y sur respectivamente. (Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), 2012)

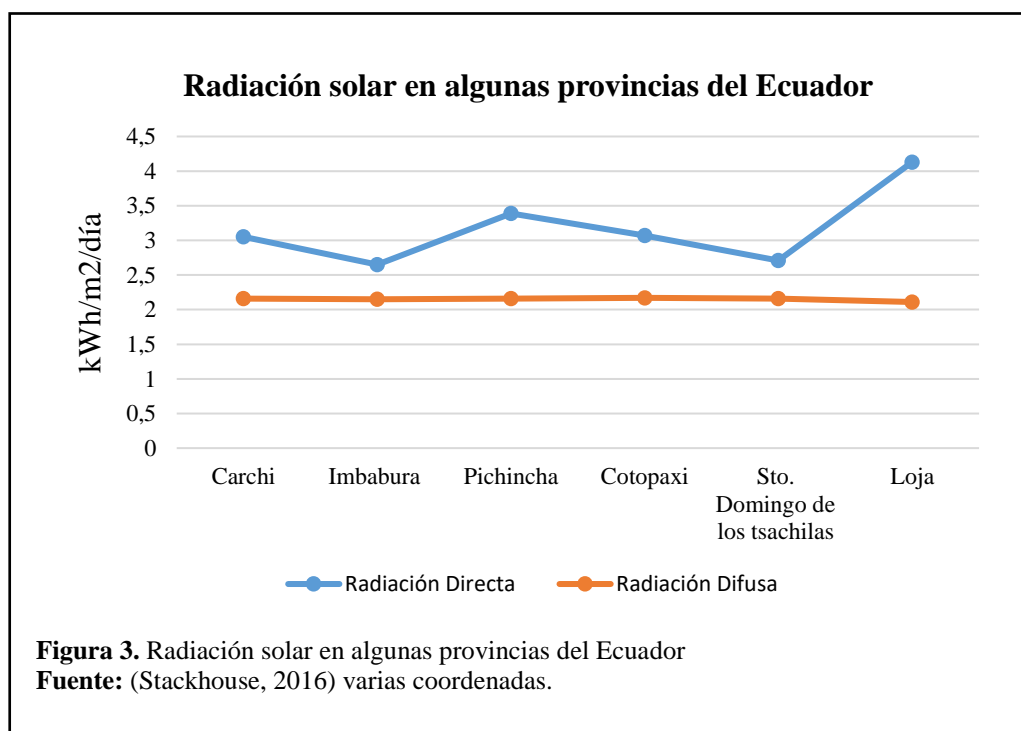
Los rayos solares enviados a la tierra tienen distancias desiguales, provocando que recorran mayores distancias hacia los polos y quedando una distancia más corta incidida en la línea ecuatorial.

Esta información da como conclusión que las radiaciones solares que inciden sobre el Ecuador y a su vez sobre Quito, con 2850 m sobre el nivel del mar son de mayor intensidad siendo esto beneficioso para el proyecto propuesto, ya que debemos aprovechar al máximo la radiación para poder obtener un funcionamiento con un rendimiento adecuado en nuestro sistema y a su vez siendo provechoso y amigable con el ambiente, pudiendo determinar que el proyecto es viable en la ciudad de Quito Ecuador.

- Condiciones de la radiación solar en Quito.

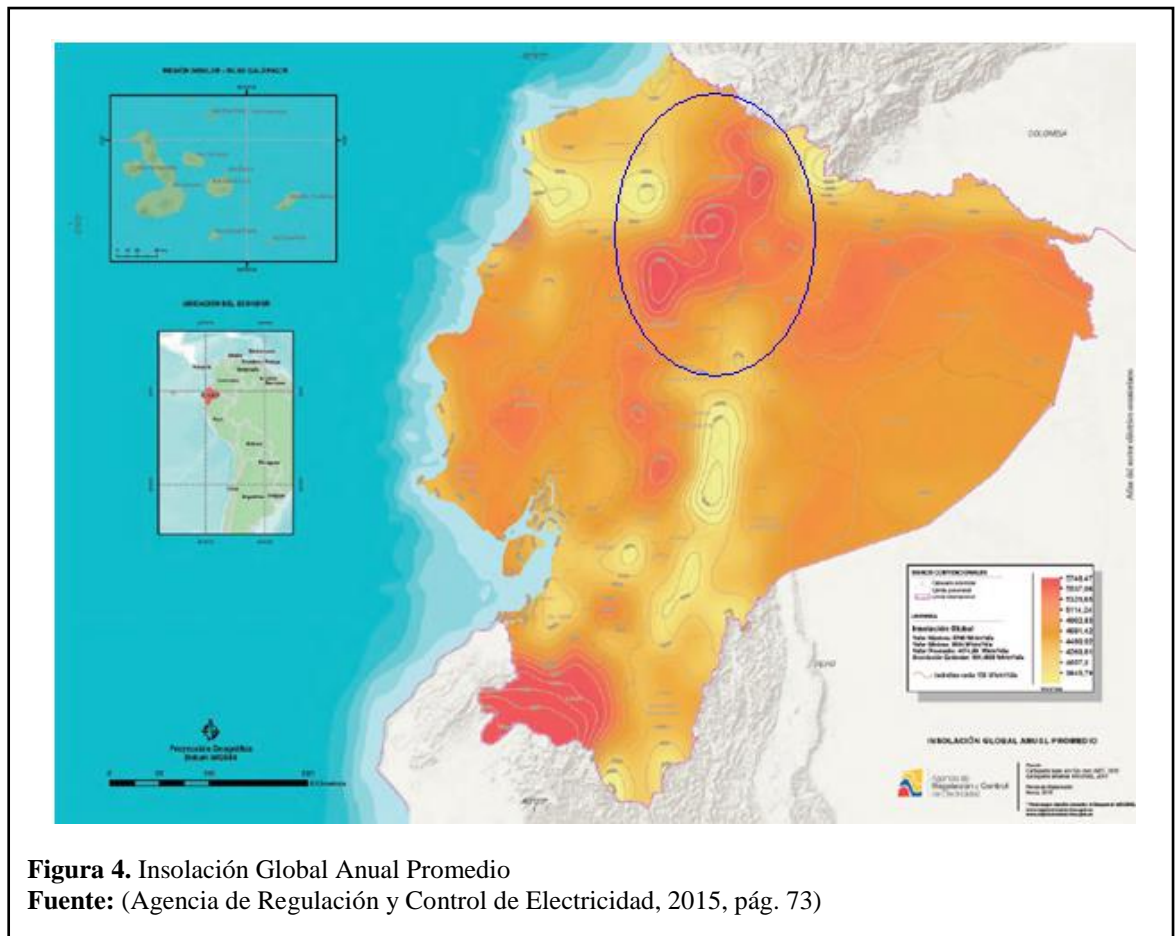
Quito por su ubicación geográfica es una de las ciudades que registra índices de insolación altos.

“Los valores más altos de insolación se dan al norte del país, en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, parte de Cotopaxi y Sto. Domingo de los Tsáchilas; y en la provincia de Loja al sur del Ecuador. En Quito los valores de insolación están cerca de los 5160 Wh/m² por día”. (Agencia de Regulación y control de Electricidad, 2015, pág. 71).



La figura 3 refleja que Pichincha y Loja, son las provincias que reciben una mayor cantidad de energía solar directa, siendo el comportamiento distinto en la radiación difusa es diferente, los valores no varían tan considerablemente, dando como resultado una línea con casi nada de pendientes.

De acuerdo a estos datos se concluye que Quito es una de las ciudades idóneas para un proyecto solar, así como el presente proyecto de calentamiento de agua para uso doméstico.



Un concepto importante es la insolución, que se conoce también como acumulación de energía promedio que llega a un lugar de la tierra en un día específico. (Sebastián, 2013)

Como se puede observar en la figura 4 la provincia de pichincha registra valores de radiación global altos en “promedio de $4,25 \frac{kWh}{m^2 \cdot día}$ ” (Pésantez Encalada, 2014) con los cuales el análisis del proyecto toma una dirección más enfocada en la selección del lugar a ser aplicado el mismo.

La radiación solar a diferencia de la insolación es la transmisión de ondas electromagnéticas emitidas por el sol a través del espacio.

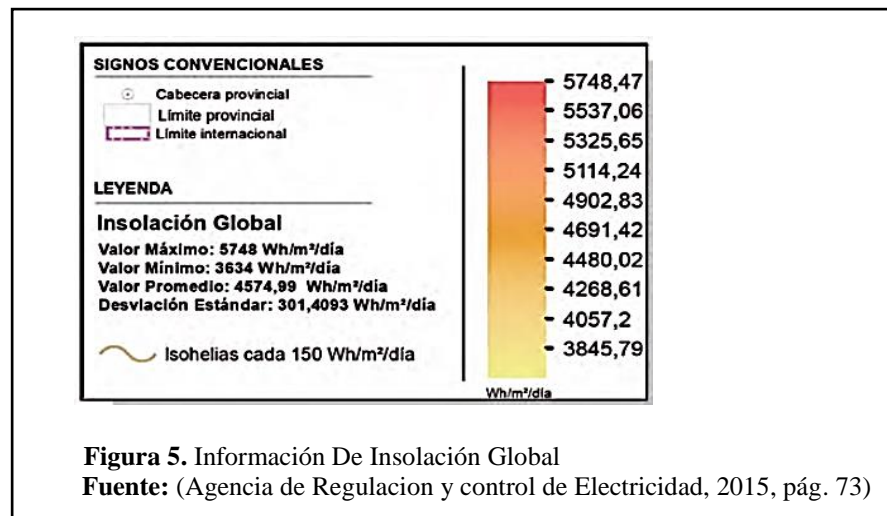


Figura 5. Información De Insolación Global

Fuente: (Agencia de Regulacion y control de Electricidad, 2015, pág. 73)

La figura 3 es la ampliación de una sección de la figura 2 donde indica valores máximos, mínimos y promedios de insolación global, representados en dicha figura.

1.2 Estudio de la Energía Eléctrica en Ecuador

En este balance energético se pretende mostrar un resumen de los datos estadísticos del sector energético del país, ya que esta información resulta muy importante para la realización del proyecto, obteniendo información que permite analizar las tendencias de producción y demanda de energía del país, para el análisis e implementación de nuevos proyectos, así como su optimización de recursos.

La generación eléctrica en 2014 se incrementó en 4,5%, lo que significa una producción de 15070 kilo barriles equivalentes de petróleo (kBEP) (24307 GWh). Para este año, la estructura de generación fue 47% hidráulica, 51% térmica y 2% de otras fuentes renovables correspondiente a eólica, solar y biomasa.

De igual forma, la capacidad instalada de generación fotovoltaica ha tenido un incremento en el tiempo, pasando de 78 KW a 3,9 MW entre 2012 y 2013, alcanzando 26 MW en el 2014, lo cual muestra el importante incremento de la participación renovable no convencional en la matriz de generación eléctrica. (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Balance Energético Nacional 2015, 2015, pág. 5)

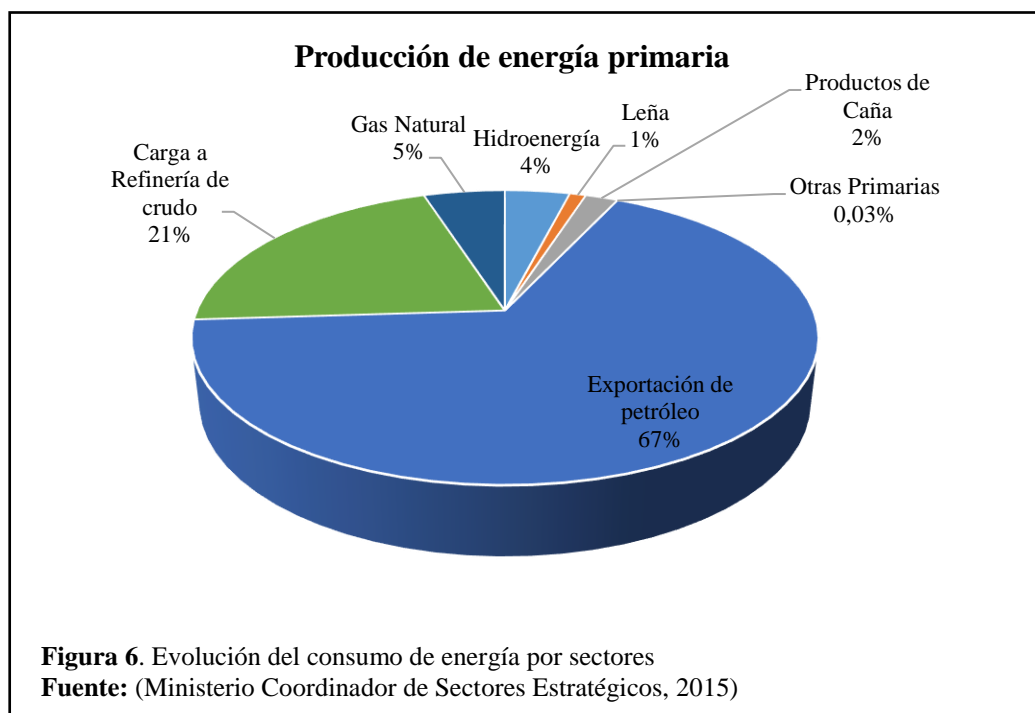
1.2.1 Producción de energía primaria en el Ecuador

- Energía Primaria

Se lo denomina así ya que las fuentes de energía, están disponible en la naturaleza para luego ser convertida o transformada. Esto abarca la energía hidráulica, geotérmica, eólica, solar, recolección como es la leña y de explotación como es el caso del petróleo y el gas natural.

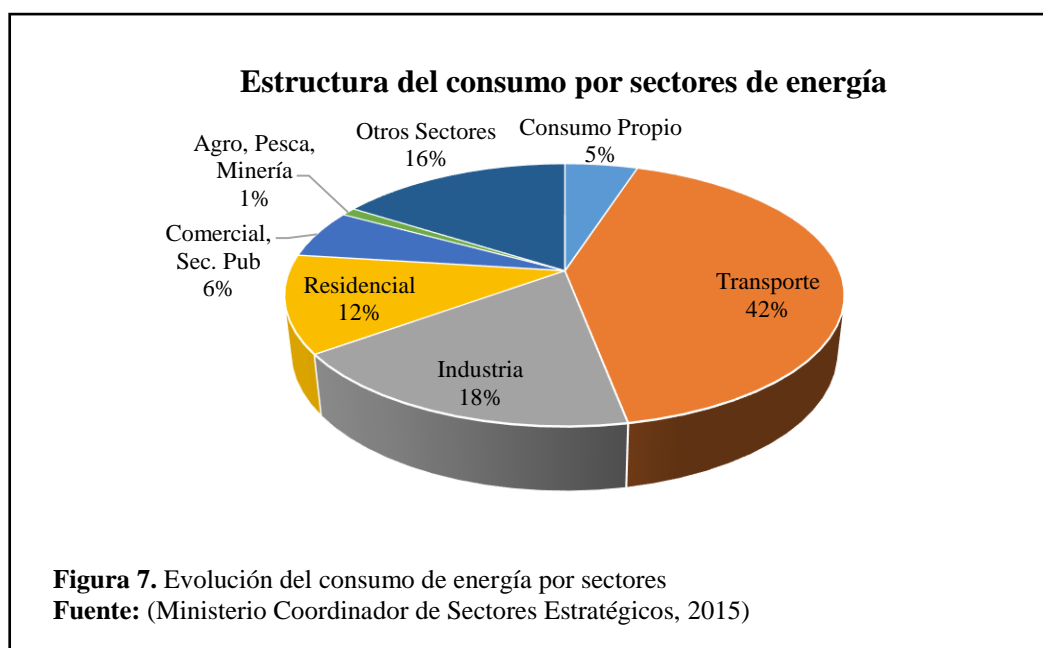
El Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2015) muestra que la producción se concentra en la energía de origen fósil: “petróleo (88%), que se divide a su vez en exportación (67%) y otra para refinerías nacionales (21%), con un 5% de gas natural.

El resto de producción es hidráulica (4%), producción de productos de caña menor al 2%, leña con menos del 1% y otras primarias (solar y eólica) con el 0,03%” (pág. 21).



1.2.2 Demanda de la energía eléctrica por sector en el Ecuador

“El sector que más consume energía en el Ecuador es el transporte (42%), seguido por la industria (18%), el consumo residencial (12%), comercial y servicios públicos (6%), consumo propio (5%).” (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2015, pág. 26)



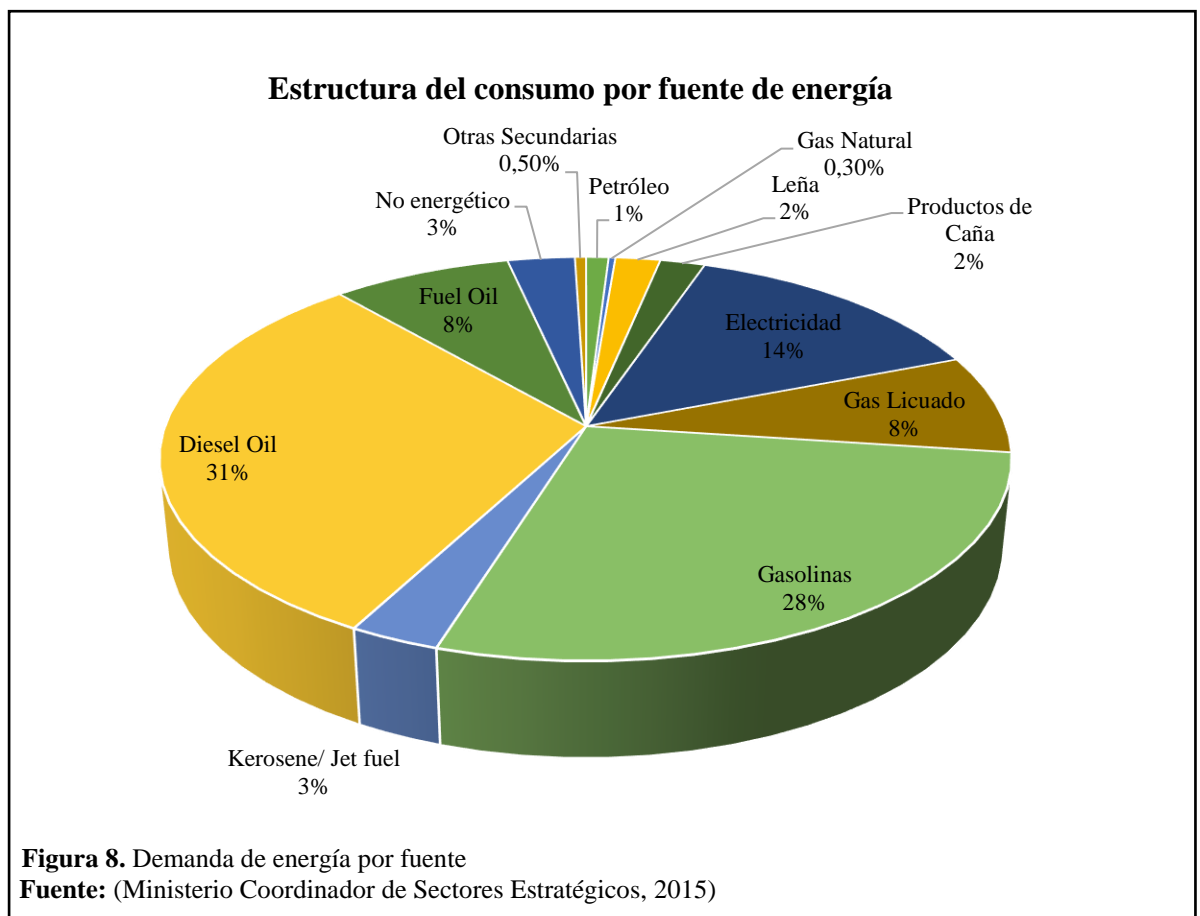
1.2.3 Demanda de energía por fuente en el Ecuador

El Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2015) “indica que en el país el 83% de la demanda de energía proviene de fuentes fósiles” (pág. 15), siendo esta energía no renovable, con la consecuencia de traer un mayor problema que se enfrente no solo Ecuador, sino el mundo, que es de la contaminación.

En el sector residencial el uso de GLP es de 53%, el cual se utiliza mayormente en la cocción de alimentos, con lo que representa aproximadamente 12 millones de barriles equivalentes de petróleo (BEP), con lo que a diferencia de países desarrollados se tiene menor consumo del sector transporte. (Agencia de Regulación y control de Electricidad, 2015)

Con esta información se conoce lo esencial que resulta para el país invertir en energía limpia y renovable, la solar es una alternativa muy válida tanto para lo residencial como para las industrias.

Algunas fuentes de energía que se indica en la figura 6 son productos derivados de petróleo, los cuales deben ser transformados mediante un proceso de combustión que produce contaminación. Detallados a continuación:



-Kerosene: Combustible refinado de petróleo principalmente el de alta calidad utilizado para turbinas de avión y de baja calidad para uso industrial como maquinaria y tractores, uso doméstico para calefacción y iluminación utilizado en lámparas. (Harold, 2013, pág. 201).

-Nafta: Derivado de petróleo mayormente utilizado como materia prima para procesos químicos, gasolina de alto octanaje, muy poco utilizado como combustible a excepción de estufas portátiles o encendedor de cigarrillos, también comercializado como disolvente de materiales orgánicos. (Harold, 2013, pág. 202).

-Diésel oil: Combustible a base aceites de plantas. (Fabrizio, Stefania, Francesco, & Alessandro, 2016, pág. 114).

-Fuel oil: Se denomina como aceites combustibles utilizado en calefacción doméstica, para procesos de calor en la industria, elevación de vapor en plantas de generación eléctrica. (Fabrizio, Stefania, Francesco, & Alessandro, 2016, pág. 116).

-Jet fuel: También conocido como combustible de chorro es un kerosene de alta calidad y utilizado específicamente como combustible para aviones. (Harold, 2013, pág. 201).

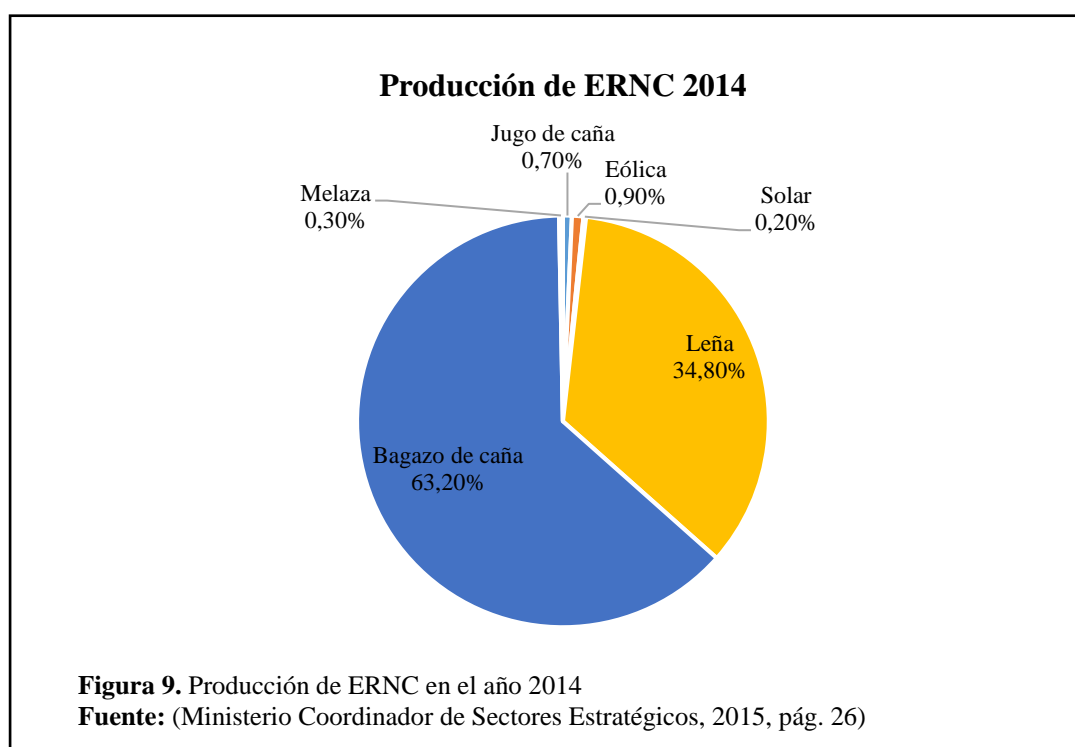
1.2.4 Energía Renovable No Convencional (ERNC)

Este tipo de energía tiene la característica principal de poder transformarse y no agotarse por lo tanto permite usar energía útil y que no contamina el medio ambiente entre las principales en el Ecuador están la eólica y la solar.

“La energía eólica y solar fotovoltaica representan el 1,1% de la producción de ERNC. Generaron 79,7 GWh/año y 16,5 GWh/año de electricidad respectivamente. La potencia instalada eólica fue de 21,2 MW al 2014; y la potencia instalada solar fotovoltaica fue de 26,4 MW.” (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2015, pág. 27)

El Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos (2015) se obtiene que en el 2014 “la producción de bagazo de caña fue de 3,6 millones de toneladas, el 48% se usó para generación eléctrica. La leña, la cual representa el 35% de la producción de ERNC, es utilizada principalmente por el sector residencial para cocción y calefacción.

La melaza y el jugo de caña representan el 1% de la producción de ERNC. Se utilizan para la obtención de etanol que forma parte de la gasolina eco-país” (pág. 26).

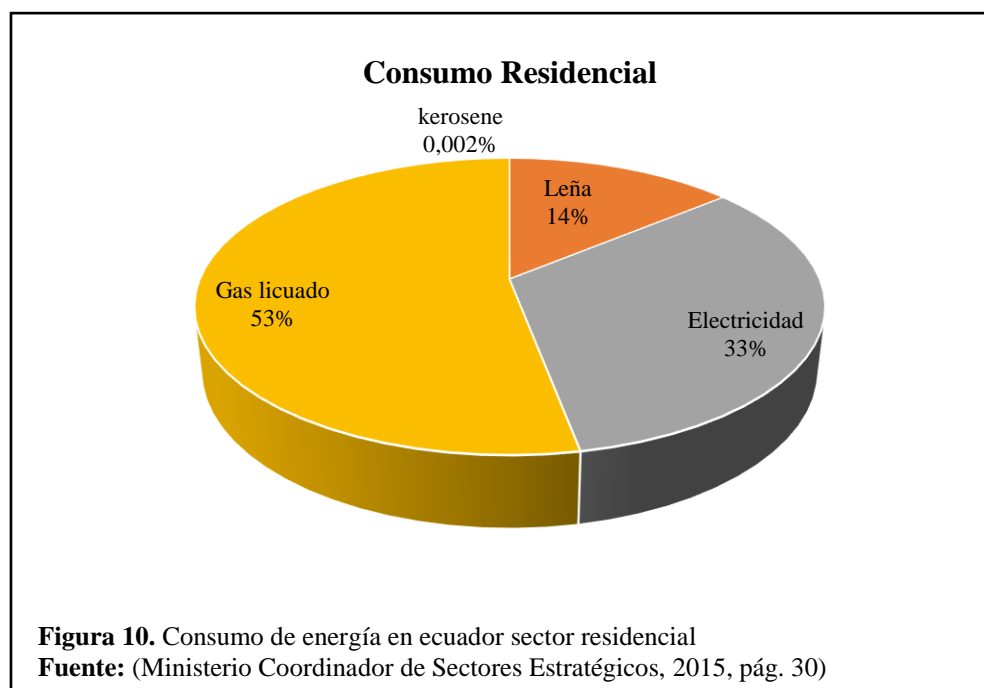


1.2.5 Consumo de los sectores económicos por tipo de fuente

Esta sección se va a enfocar al sector residencial ya que es el sector económico a donde va ir dirigido la implementación del proyecto.

En el siguiente gráfico se indica los diferentes tipos de energía que utiliza el país para el consumo residencial. Como se puede apreciar el consumo del GLP es elevado en el país.

Lo cual al eliminarse el subsidio que proporciona el estado, el impacto en la economía del país será significativo, por lo que resulta bastante factible el uso de energía no convencional como es la solar.



1.2.6 Demanda de energía eléctrica en la Empresa Eléctrica Quito por grupo de consumo (GWh)

En la ciudad de Quito se constató por medio del análisis realizado por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) que la demanda de energía eléctrica de clientes regulados fue de 3897,50 GWh de los cuales 1507,12 GWh se destinaron al uso residencial, esta información nos es muy útil, con la cual vemos donde tendrá mayor impacto el uso de paneles solares para reducir el consumo de energía eléctrica en Quito.

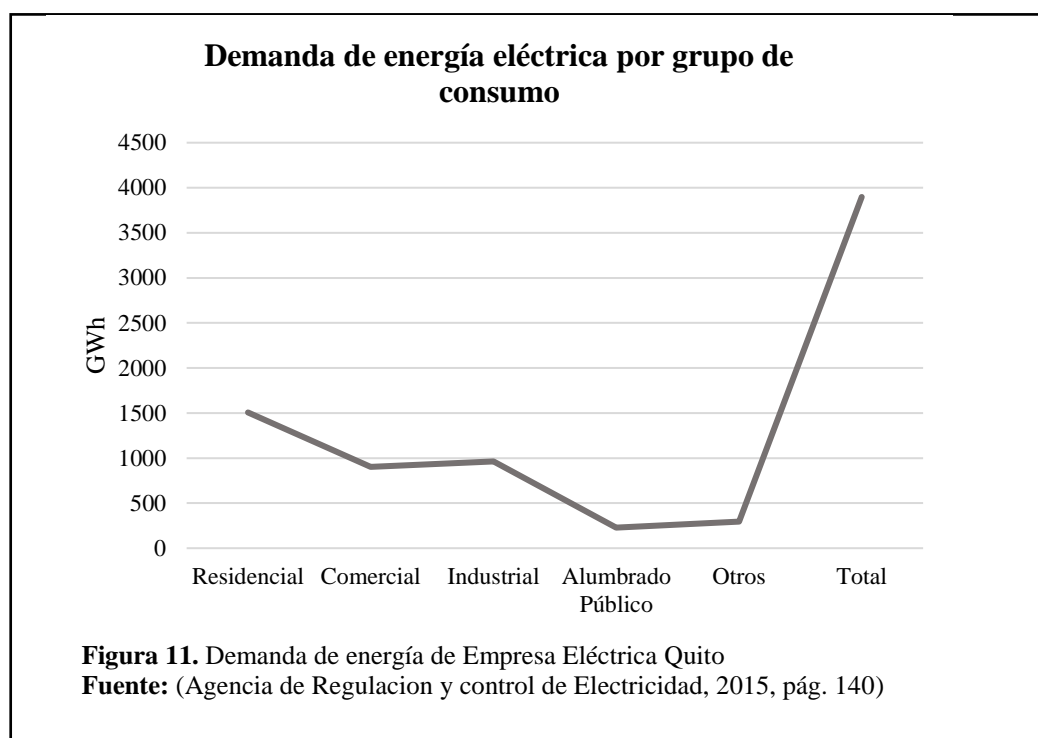
Tabla 1. Demanda de Energía eléctrica en Empresa Eléctrica Quito (E.E.Q) por grupo de consumo.

Empres a	Residencia l	Comercia l	Industria l	Alumbrad o Público	Otros	Total
E.E. Quito	1507,12	903,04	962,82	228,21	296,3 1	3897,5 0

Nota: Todos los valores en GWh

Fuente: (Agencia de Regulacion y control de Electricidad, 2015, pág. 140)

En el gráfico se aprecia claramente que la mayor demanda de energía se atribuye el sector residencial, sector donde se implementara en proyecto.



1.2.7 Demanda de energía eléctrica en Pichincha (GWh)

Las ciudades con más energía entregada para consumo son las provincias de Guayas y Pichincha se han requerido el 59,23%.

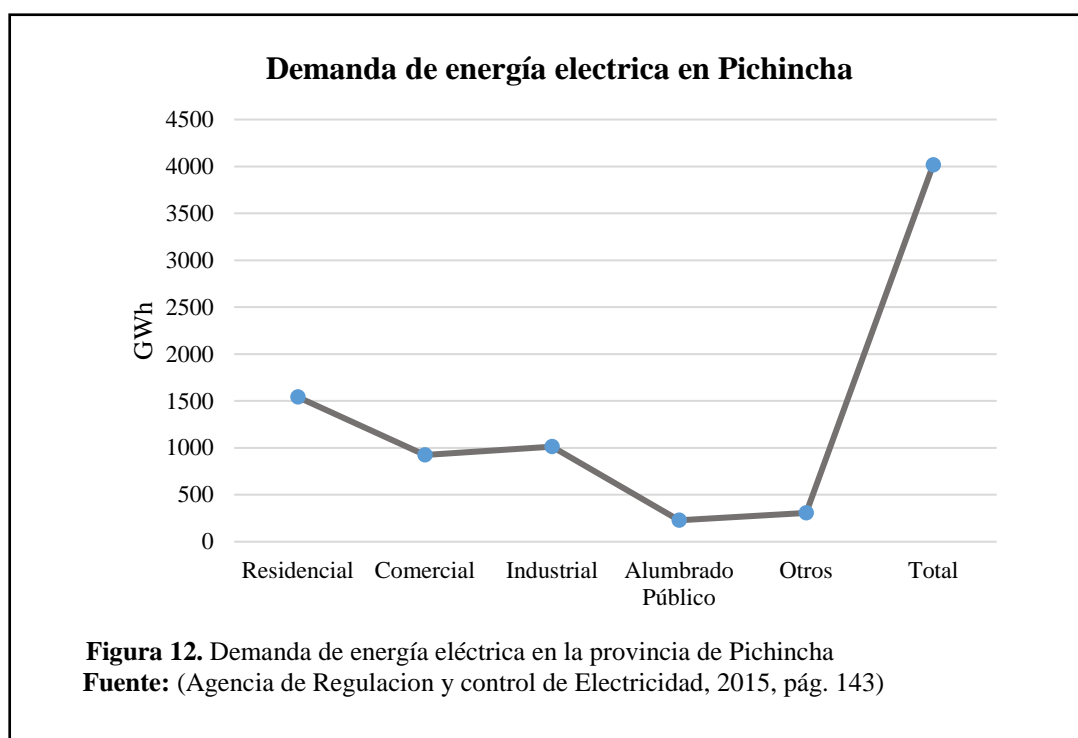
Tabla 2. Demanda de Energía eléctrica en Pichincha por grupo de consumo

Provincia	Residencial	Comercial	Industrial	Alumbrado Público	Otros	Total
Pichincha	1541,99	925,62	1014,19	228,21	305,85	4015,85

Nota: Todos los valores en GWh

Fuente: (Agencia de Regulacion y control de Electricidad, 2015, pág. 143)

Este gráfico muestra la demanda de energía de toda la provincia de pichincha, confirmando que el sector que más consume es el residencial.



1.2.8 Facturación de energía eléctrica en la provincia de Pichincha (USD)

Ecuador tuvo una facturación anual en el año 2015 de USD 1 797 696,47, “de las cuales Guayas con USD 662 493,90, Pichincha con USD 374 621,15 y Manabí con USD 130 896,11, juntas representaron el 57,69% de la facturación total.” (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2016, pág. 148)

Tabla 3. Facturación de energía eléctrica en la provincia de pichincha

Empresa	Residencial	Comercial	Industrial	Alumbrado Público	Otros	Total
Pichincha	147078,21	90321,25	89985,08	21908,84	25327,79	374621,18

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2016)

1.3 Estudio del Gas Licuado de Petróleo (GLP) en Ecuador

- Gas Licuado de petróleo (GLP)

Son gases que se los obtiene en el proceso de refinado del petróleo y está constituido por butano, propano y otros gases que se encuentran mezclados y principalmente se los utiliza como un combustible en diferentes áreas cómo doméstica, industrial, transporte y comercial.

Este tipo de hidrocarburo se lo comercializa en estado líquido en recipientes que toman los nombres de: cilindro, bombona, pipa, entre otros según cada país, los cuales deben ser herméticos y resistir alta presión.

Una de las características es su poder calorífico, superior al de los combustibles líquidos, ya que estos a presiones entre 5 y 15 bares son líquidos, hace que su utilización sea viable en muchas áreas ya sea residencial, industrial, agrícola. (Antonio, 2012)

Como medida de seguridad se añade un olor característico al gas de uso doméstico para detectar cualquier fuga, ya que estos gases son inoloros.

“En el país se comercializa el GLP en cilindros de 15 Kg y sistema centralizado para uso doméstico, cilindros de 45 Kg para el sector industrial y cilindros de 20 Kg para los taxis.” (Cedeño & Villacrés, 2013, pág. 16)



Figura 13. Presentación gas licuado de petróleo (GLP)

Fuente: (Agencia de regulación y control hidrocarburífero, 2014, pág. 15)

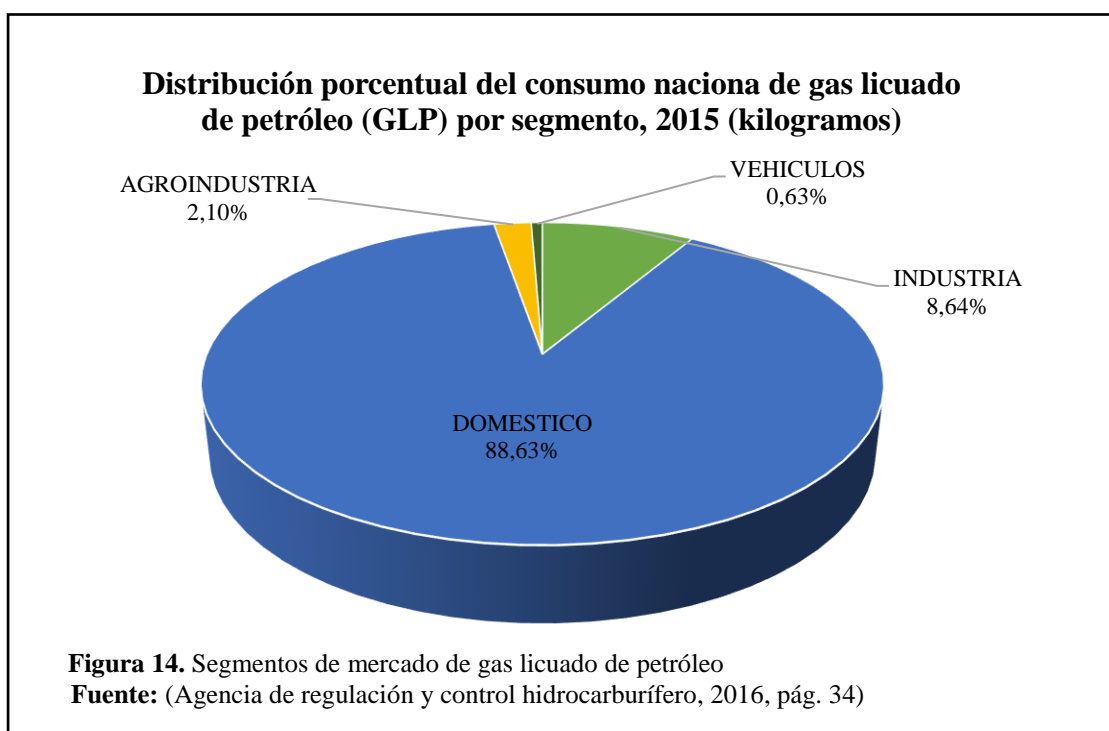
- Gas Natural

El gas natural es un combustible fósil compuesto por diversos hidrocarburos gaseosos principalmente de metano (CH_4) y en menores cantidades de etano (C_2H_6), propano (C_3H_8). (Petrolera, 2013)

La gran diferencia del GLP con el gas natural, este último no necesita ser obtenido de la refinación del petróleo, se encuentra en el subsuelo generalmente se lo extrae de los yacimientos independientes o yacimientos petrolíferos por lo que no necesita de procesos petroquímicos. (Innergy, 2012)

1.3.1 Uso del gas licuado de petróleo (GLP) en el Ecuador

En el Ecuador el uso del GLP se lo considera como una de las mayores fuentes de combustible, existen 5 campos en los cuales se destina el uso de este hidrocarburo, los cuales son debidamente controlados por la Agencia de regulación y Control Hidrocarburífero (ARCH).



La figura 14 indica que el segmento doméstico es un campo dominante en el uso del GLP, destinando el mismo a la cocción de alimentos, calentamiento de agua, entre otras. Siendo este un punto importante para el desenvolvimiento de nuestro proyecto de investigación.

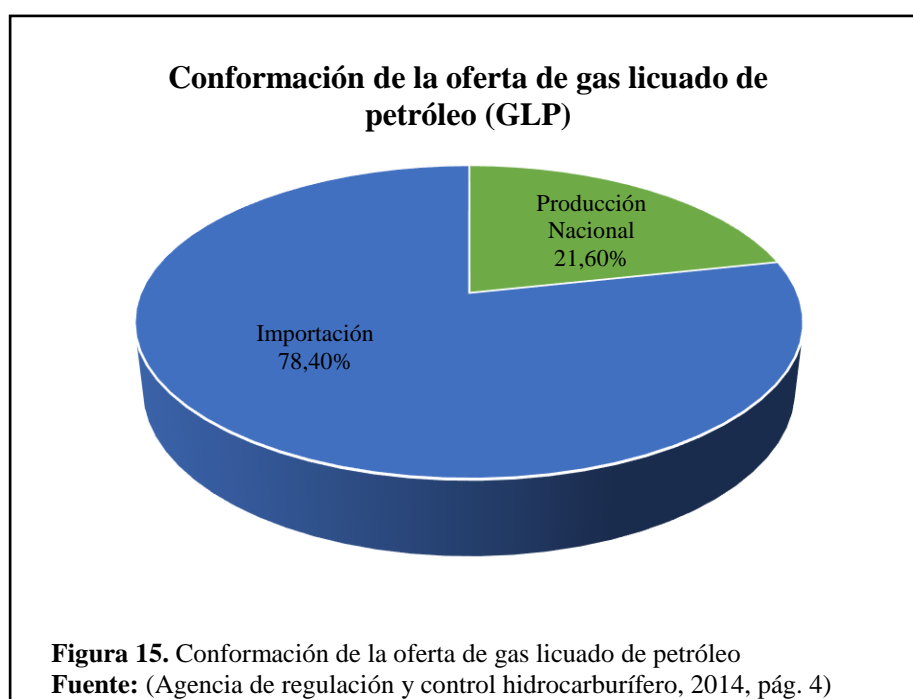
Este hidrocarburo es producido en el país en 3 refinерías: La libertad, Esmeraldas y Shushufindi, pero estas cantidades procesadas no abastecen para la demanda actual en el país, el resto de producto necesario se lo importa.

Tabla 4. Conformación de la oferta de gas licuado de petróleo

Fuente de Abastecimiento	Toneladas por año (t/año)	%
Producción Nacional	226226	21,6
Importación	821053	78,4
Total	1047279	100

Fuente. (Agencia de regulación y control hidrocarburífero, 2014, pág. 4)

En el gráfico siguiente se observa que la mayor parte del GLP se importa obteniendo esta un 78.4% del total.



Partiendo de estos datos se puede deducir que el Ecuador presenta una importación de GLP del 78,40%, lo cual queda un poco confuso ya que es un país petrolero, en otras palabras, vendemos barriles de petróleo y luego compramos hidrocarburos refinados del petróleo. Esto se lo hace de esta forma ya que refinarlo en el país representaría mayores costos que los que actualmente se están destinando a la adquisición del mismo.

La finalidad del proyecto es analizar la factibilidad de disminuir los valores tanto en porcentaje como toneladas por año y en definitiva un ahorro económico considerable para el estado ecuatoriano.

1.3.2 Uso gas licuado de petróleo (GLP) en Quito

EP Petroecuador realizó un análisis de los datos de ventas por comercializadoras de gas licuado de petróleo (GLP) y segmento de consumo, para lo cual seleccionamos datos específicos de la provincia de pichincha que son los de interés de estudio. Con estos datos aclaramos la perspectiva del consumo en la provincia de pichincha separándolo por segmentos de consumo. Siendo el segmento doméstico el de mayor consumo en la capital ecuatoriana.

Tabla 5. Venta de comercialización de gas licuado de petróleo y segmento de consumo en pichincha

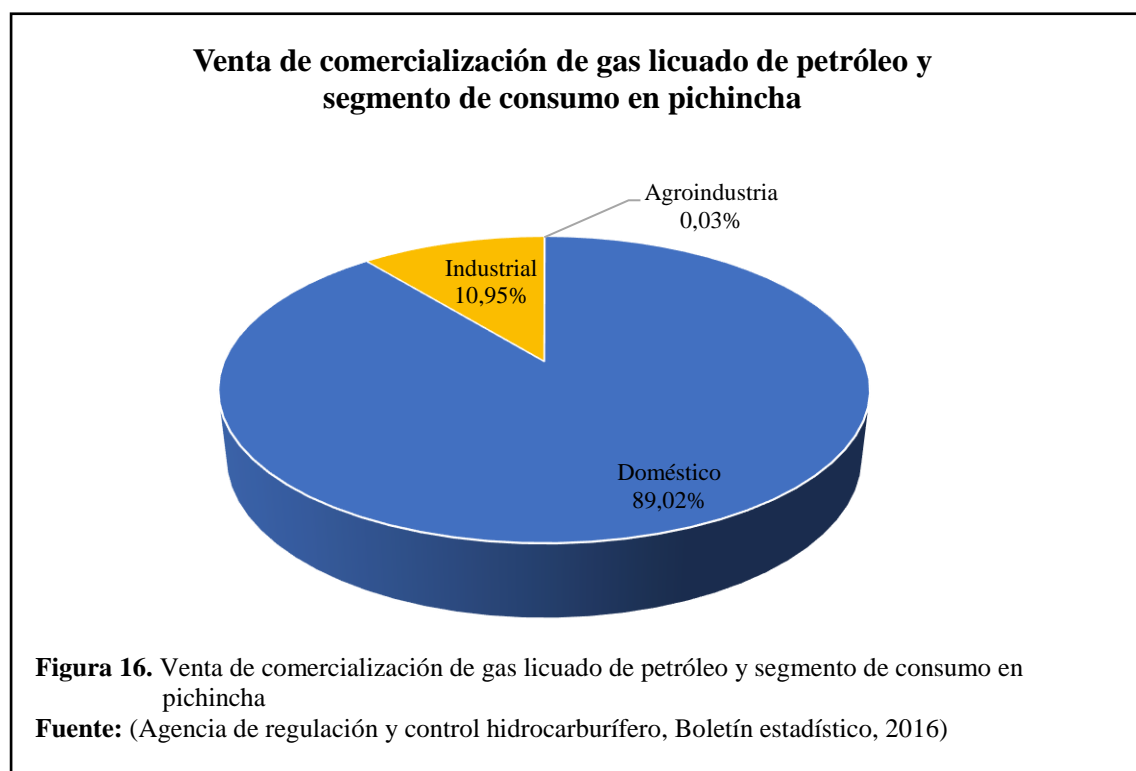
Pichincha	Agroindustria	Doméstico	Industrial	Vehicular	Total
Kilogramos	70235	226296,373	27836,940	-	254203,549
Porcentaje	0,03%	89,02%	10,95%	0	100,00%

Nota. Por efectos de diagramación, se transformó kilogramos a toneladas métricas (1 millón kg/1000=1 tonelada).

Fuente: (Agencia de regulación y control hidrocarburífero, 2016, pág. 33).

El siguiente gráfico muestra una clara tendencia del consumo del GLP en el país, casi la totalidad de este se destina al uso doméstico.

Por lo tanto, este proyecto tendrá un impacto económico con la correcta implementación del mismo en los hogares de la ciudad de Quito.



1.3.3 Impacto financiero del gas licuado de petróleo GLP por subsidio del estado

El estado ecuatoriano destina sumas considerables de dinero del presupuesto general del estado al subsidio del GLP, este subsidio fue implementado ya hace muchísimos años con la finalidad de poder brindar una ayuda a los sectores sociales menos beneficiados económicamente.

Tabla 6. Subsidios periodo 2012-2015

Combustible	Cantidad en dólares
Diésel importado	1364 388 912
GLP nacional	23 799 881
GLP importado	656 341 886
Nafta importada	778 868 544
Jet Fuel importado	43 618 327
Total	2867 017 550

Fuente: (Ministerio de Finanzas, 2015, pág. 21)

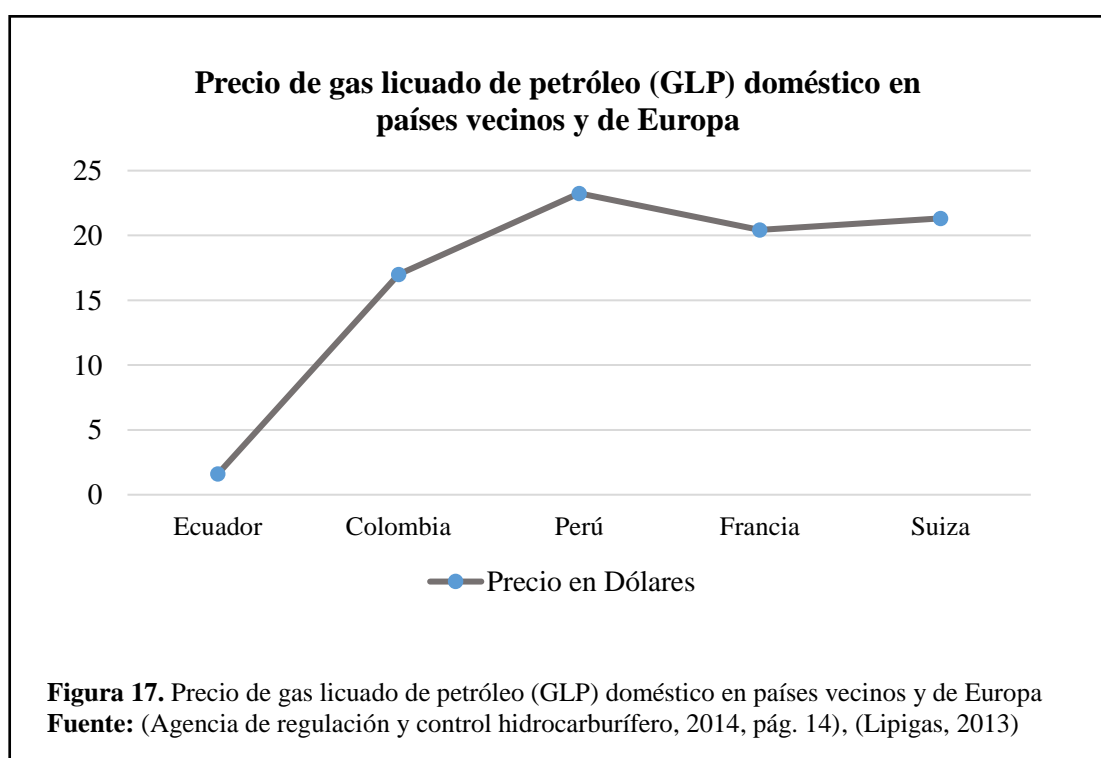
Como se observa en la tabla 6 los porcentajes asignados a este subsidio son altos, con el presente proyecto se demostrará el ahorro que el estado puede llegar a tener y estos valores ser reasignados a otro campo como puede ser la salud, educación, investigación, entre otros.

Existe un problema que se suscita por los costos elevados que tiene el GLP en los países que limitan con nuestras fronteras, Colombia y Perú, partiendo de esto se presenta el contrabando hacia estos países lo cual es una pérdida para el estado ecuatoriano, el gobierno actual ha incrementado los controles para disminuir esto.

En Europa tomando como comparativa a Francia y Suiza, se encuentra el litro de GLP a USD 0,71 y USD 0,74 respectivamente. (Global, 2016)

Para poder realizar una comparativa entre países latinoamericanos y europeos, se considera la relación de 1,92 litros por Kg de gas licuado. (Lipigas, 2013)

Por lo tanto, un tanque equivalente de 15kg que se encuentra en Ecuador costará en Francia y Suiza alrededor de USD 20,44 y USD 21,31 respectivamente. Con estos datos se llega a la conclusión que el estado invierte mucho dinero en subsidiar el GLP ya que tanto en países latinoamericanos como europeos el precio es mucho más elevado.



1.4 Impacto Ambiental en el Ecuador

Un problema que tiene el Ecuador, al igual que el resto de países del mundo es la emanación de gases de efecto invernadero (GEI), ya que estos se concentran en la atmosfera de la tierra y traen efectos significativos sobre el clima.

En los últimos años estos gases se han incrementado de una manera alarmante debido a las actividades humanas, “es una de las causas probables del aumento de 0,6°C de la temperatura media global observado en el periodo 1910-1995.” (Camilloni, s.f.)

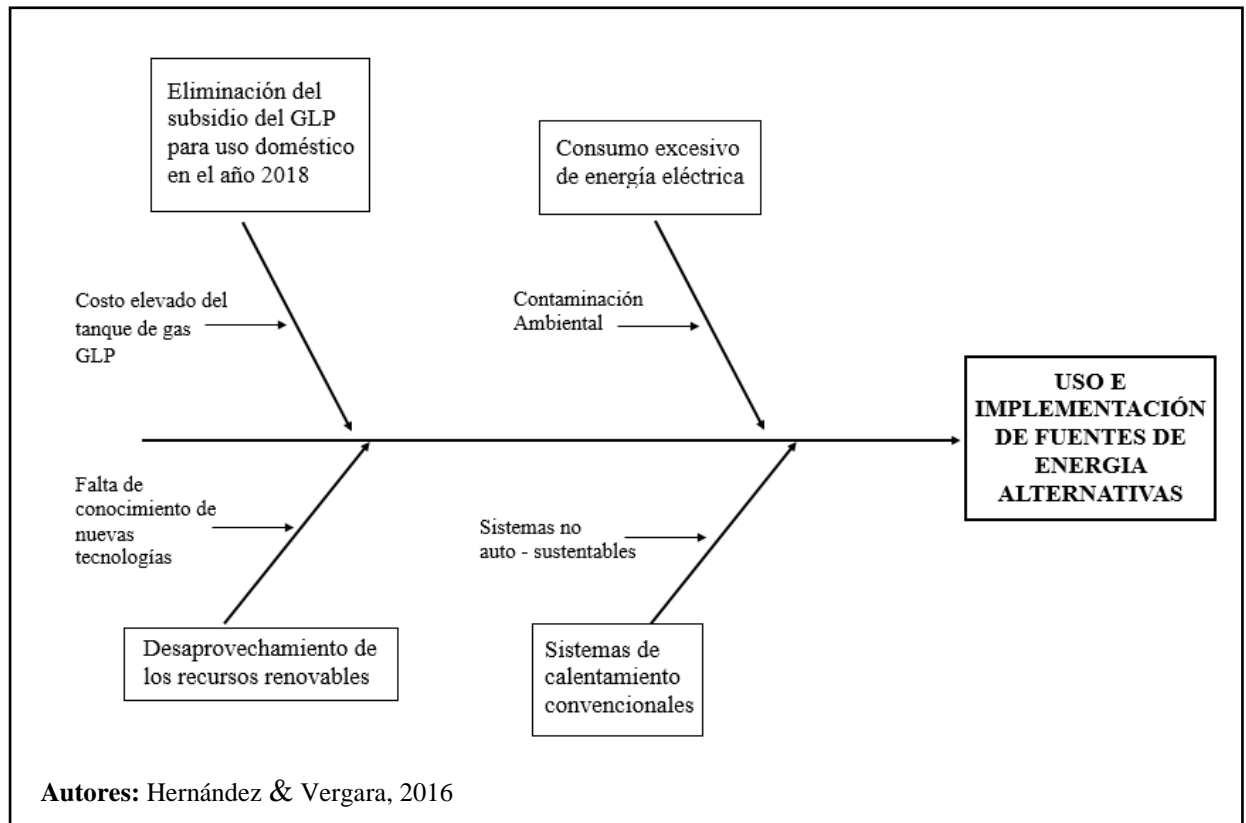
Como se puede apreciar en la tabla 7 en el Ecuador se emite 45.805.000 millones de toneladas de CO₂ equivalentes al año, “esto representa el 0,15% respecto a niveles de emisión de otros países industrializados, por lo tanto, no tiene obligación política de reducir los niveles de emisiones, el país ha adoptado voluntariamente por tecnologías y medidas para reducir las emisiones.” (Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2016)

Tabla 7. Emisiones de GEI por actividad (kt CO₂ equivalentes) en el año 2014

Actividad	2014
Producción	210
Centrales eléctricas.	6236
Auto productor	3115
Centro de gas	569
Consumo propio	1831
Transporte	17995
Industrial	6087
Residencial	3482
Comercial	1060
Agro-pesca	372
Construcción	4848
Total, Emisiones	45805

Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2015)

1.5 Diagrama causa efecto



1.6 Análisis de alternativas

Con la finalidad de realizar la selección adecuada del sistema híbrido de calentamiento de agua para uso sanitario, se realizará un análisis de alternativas para poder llegar a seleccionar el sistema óptimo para las necesidades de estudio, para poder llevar acabo el presente análisis es importante considerar ciertos parámetros como son: Eficiencia teórica del sistema, valores económicos, mantenimiento, tecnologías utilizadas, entre otros.

1.5.1 Selección de alternativas

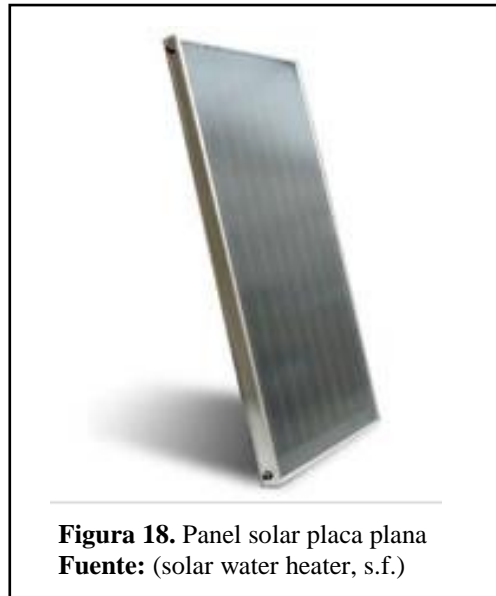
Para poder realizar la adecuada selección es importante analizar entre los sistemas que se encuentran en el mercado local y que cumplen con el mismo propósito y son los siguientes:

- Panel solar placa plana.
- Panel solar tubo de vacío flujo directo.
- Panel solar tubo de vacío Heat pipe.

1.5.2 Panel solar placa plana

Como alternativa 1 esta los paneles solares por placa plana figura 16, este tipo de colector tiene un mecanismo similar a un intercambiador de calor, un fluido en este caso agua, recorre por el colector para que la energía captada por el colector sea transferida al fluido, dentro de los componentes de este sistema están: caja aislante, placa plana de color negro que absorbe el calor, cubierta transparente de vidrio. Las superficies negras son para mejorar la eficiencia del sistema. (Krishna & Rajesh , 2017, pág. 1).

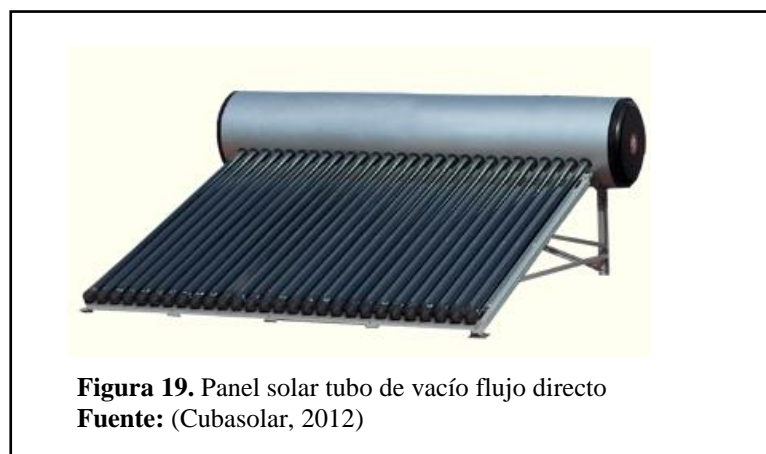
Este tipo de sistema proporciona una eficiencia de 37,8% según (Ayompe & Duffy, 2013, pág. 453)



1.5.3 Panel solar tubo de vacío flujo directo

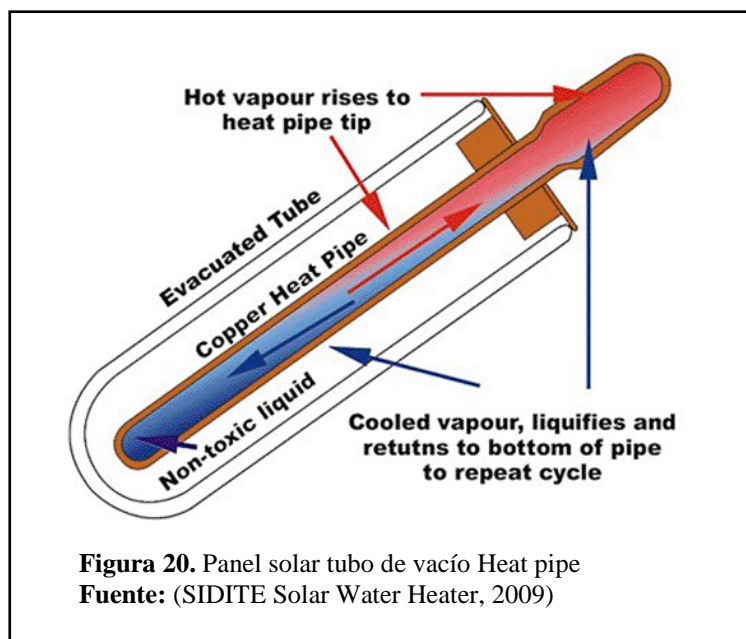
Como 2^{da} alternativa están los paneles solares por tubo de vacío flujo directo figura 17, este tipo de sistema está basado principalmente en la conductividad, las tuberías de vidrio son de alta conductividad térmica realizando un trabajo como buen flujo de calor a ser transferido al fluido en este caso agua. (Roonak & Abdellah , 2016, pág. 1)

Este tipo de sistema tiene una eficiencia máxima del 62 % según (Roonak & Abdellah , 2016, pág. 268)



1.5.4 Panel solar tubo de vacío Heat pipe

Como última alternativa están los paneles solares por tubo de vacío heat pipe figura 18, su funcionamiento es transferir el calor al agua a ser calentada mediante la evaporación y condensación de un alcohol, siendo calentado por el absorbedor del sistema. (Ayuntamiento de Pamplona, 2008, pág. 21)



Este tipo de sistema tiene una eficiencia del 91,5 % según (Zhirong & Amir , 2016)

1.5.5 Identificación de necesidades.

Para poder satisfacer las necesidades se ha tomado en consideración los siguientes aspectos para la selección óptima del sistema:

-Eficiencia: Se evalúa el desempeño del sistema al momento de aprovechar la mayor cantidad de energía solar y transferirla al agua en forma de energía calórica, también se analiza factores como: aislamiento, tiempo empleado para calentamiento, entre otros.

-Costo: Es importante considerar el tema financiero al momento de la selección, ya que debe ser lo más económico y con un rendimiento adecuado acorde a la aplicación del estudio.

-Mantenimiento: Se requiere un sistema que tenga una vida útil muy prolongada y para que sea prolongada es necesario realizar mantenimiento adecuado, este tiene que ser económico, fácil reemplazo de algún elemento del sistema de ser necesario, una amplia gama de repuestos en el mercado local, o sencilla adecuación, para garantizar un correcto funcionamiento.

-Instalación: Para proceder a la instalación el tiempo empleado para este no debe ser demasiado, las herramientas requeridas deben ser las más comunes y accesorios en caso de ser requeridos deben ser de fácil adquisición o implementación.

-Automatización: Con el avance diario de la tecnología en la actualidad, el sistema debe ser amigable al momento de la implementación de cualquier elemento que le proporcione al sistema de autonomía y con el paso del tiempo no se vuelva obsoleto.

-Seguridad: El sistema debe proporcionar toda la seguridad al usuario, con la finalidad de evitar cualquier eventualidad o accidente a lo largo de la vida útil.

-Manejo: Es importante que al operar el sistema este sea muy amigable con el usuario, para evitar errores, manipulación inadecuada y este repercuta en el normal y óptimo funcionamiento.

Los distintos aspectos antes mencionados son de gran consideración al momento de la toma de decisión al implementar el sistema, ya que se seleccionará el sistema que cumpla con el puntaje más alto a las características detalladas, para que su funcionamiento sea adecuado en todo momento.

1.5.6 Selección de la alternativa más idónea

En la selección de la alternativa más idónea se considera un amplio conjunto de criterios analizados de forma independiente para cada uno de los sistemas propuestos, con la finalidad de que esta selección sea la más acertada, se elige un mecanismo de evaluación cuantitativo el cual indica los distintos valores numéricos de cada necesidad y analizados en cada alternativa presente.

A cada una de las necesidades se le asignara una puntuación numérica del 7 al 10, siendo su equivalencia la siguiente:

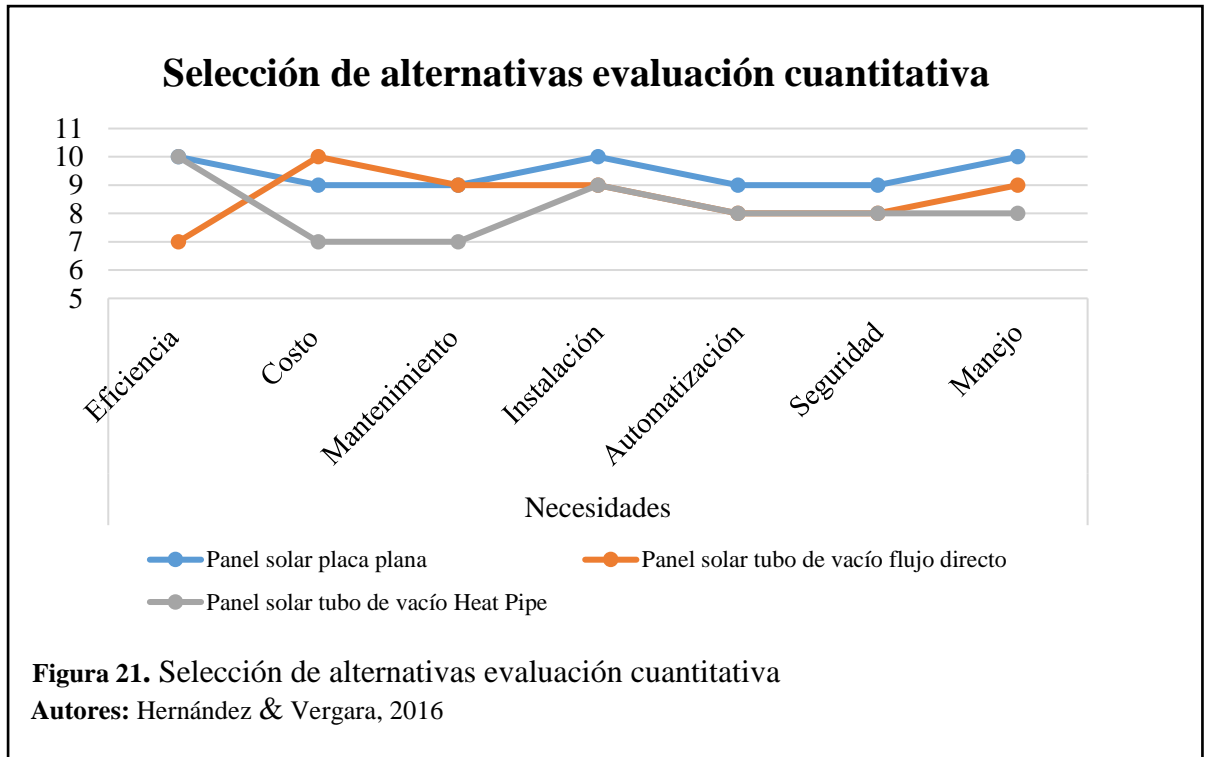
- 7 = Mala
- 8 = Buena
- 9 = Muy Buena
- 10 = Excelente

Tabla 8. Selección de alternativas evaluación cuantitativa

Alternativas	Necesidades							Valoración total	Valoración porcentual
	Eficiencia	Costo	Mantenimiento	Instalación	Automatización	Seguridad	Manejo		
Panel solar placa plana	10	9	9	10	9	9	10	66/70	94,3%
Panel solar tubo de vacío flujo directo	10	10	9	9	8	8	9	63/70	90%
Panel solar tubo de vacío Heat Pipe	10	7	7	9	8	8	8	57/70	81,4%

Autores: Hernández & Vergara, 2016

Luego de realizar un análisis independiente por cada alternativa y las necesidades, la tabla 8 indica que la alternativa panel sola de placa plana tiene los valores totales y porcentuales más altos.



2 Conclusión selección de alternativas

Para llegar a formar esta gráfica se evaluó con los criterios adecuados, detenidamente y de forma imparcial cada ítem. La figura 19, indica una curva con el comportamiento de cada alternativa frente a cada necesidad evaluada, resalta la curva del panel solar placa plana como la alternativa más óptima para el presente estudio, teniendo una tendencia superior a las otras alternativas.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA

2.1 Diseño del sistema de calentamiento de agua

El sistema híbrido de calentamiento de agua que utiliza energía solar y eléctrica para uso doméstico, será implementado en la ciudad de Quito, se determinó mediante cálculos las diferentes condiciones presentadas en esta ciudad para que la implementación del sistema sea óptima para su funcionamiento y cumpla con las necesidades para las cuales fue adaptado el sistema.

2.2 Temperatura y velocidad media del aire en Quito

La tabla 9 contiene datos estadísticos obtenidos del anuario 2012 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), información que fue utilizada como referencia para los cálculos desarrollados a lo largo del análisis

Tabla 9. Selección de alternativas evaluación cuantitativa

Mes	Temperatura del aire (°C)		Velocidad media del viento (km/h)
	Máxima	Mínima	
Enero	22,2	10,3	1,9
Febrero	19,8	10,2	2
Marzo	22,6	10,8	2,3
Abril	20,7	10,5	1,8
Mayo	22,1	10,7	2,6
Junio	22,9	10,7	3,1
Julio	23,6	11,4	4
Agosto	23,9	10,9	3,6
Septiembre	24,5	11,2	4,2
Octubre	22,9	10	2,2
Noviembre	22,9	10,5	1,9
Diciembre	22,1	10	2,1

Nota: Valores promedio de condiciones climáticas en Quito.

Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2012, pág. 31)

2.3 Análisis de la demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS)

Para el análisis de demanda de ACS se toma como referencia los datos de la tabla 9 donde se aprecia que el consumo de una persona en una vivienda es de 41 litros a 60°C. (Ministerio de Fomento, 2013)

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) en la provincia de Pichincha el promedio de personas por hogar es de 3,54 por lo tanto, una familia promedio necesita 164 litros/día de agua caliente sanitaria.

Tabla 10. Criterio de demanda de ACS

Criterio de demanda	Litros/día-por persona
Vivienda	28
Hospitales y clínicas	55
Centro de salud	41
Hotel *****	69
Hotel ****	55
Hotel ***	41
Hotel/hostal **	34
Camping	21
Hostal/hostal	28
Residencia	41
Centro penitenciario	28
Albergue	24
Vestuarios/Duchas colectivas	21
Escuela sin ducha	4
Escuela con ducha	21
Cuarteles	28
Fábricas y talleres	21
Oficinas	2
Gimnasios	21
Restaurantes	8
Cafeterías	1

Nota: Demanda de referencia a 60°C

Fuente: (Ministerio de Fomento, 2013)

2.4 Análisis de condiciones de energía solar en el sitio y superficies

Para proceder con este análisis se estableció las coordenadas geográficas del sitio: latitud -0,085 y longitud -78,441 datos obtenidos del satélite de google maps (Google Maps, 2015), como indica la figura 19.

Valores que fueron utilizados para cálculos desarrollados en el presente capítulo.

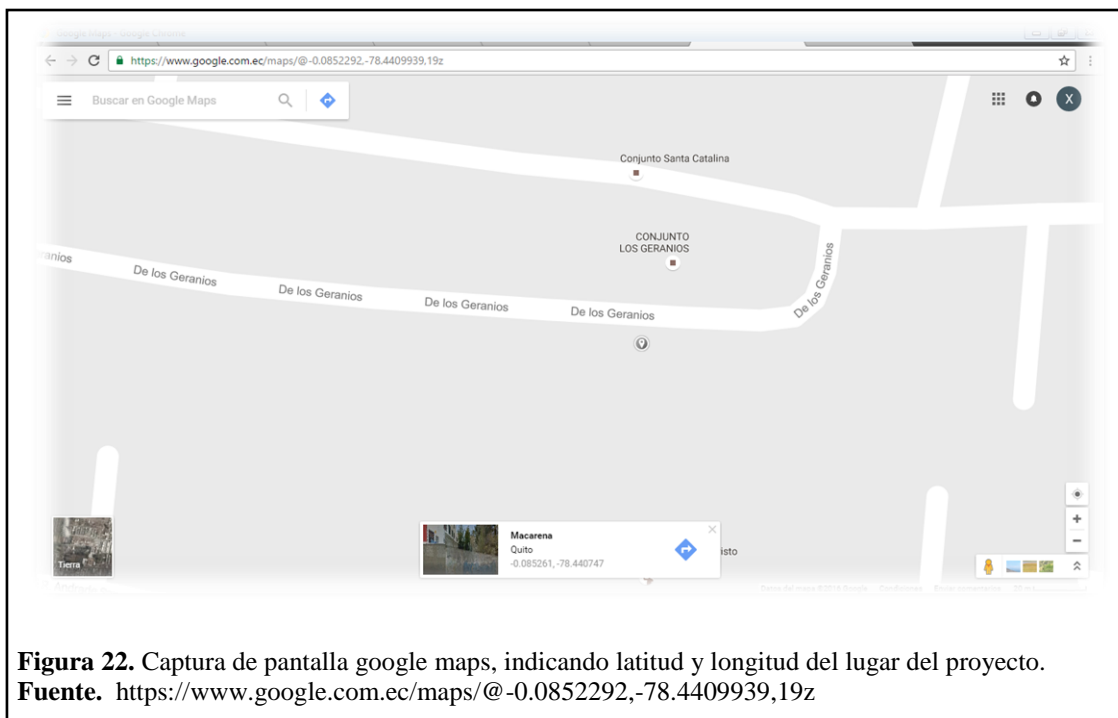


Figura 22. Captura de pantalla google maps, indicando latitud y longitud del lugar del proyecto.
Fuente. <https://www.google.com.ec/maps/@-0.0852292,-78.4409939,19z>

2.5 Radiación solar

Flujo de radiación total recibido por la tierra (Camelia & Dorin , 2014, pág. 135), se lo representa con la siguiente expresión:

$$H_T = H_b + H_d \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

$$H_T = \text{Radiación total; } \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot \text{día}} \right)$$

$$H_b = \text{Radiación directa; } \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot \text{día}} \right)$$

$$H_d = \text{Radiación difusa; } \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot \text{día}} \right)$$

- Declinación solar

La radiación que llega sobre la superficie varía dependiendo de la declinación de sol (John A & William A, 2013, pág. 13) y esta variación se representa dentro de los límites de la siguiente expresión: $-23,45^\circ \text{ (diciembre 22)} \leq \delta \leq +23,45^\circ \text{ (junio 22)}$

Con la fórmula de Cooper se puede calcular la declinación solar:

$$\delta = 23,45 \times \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

δ = Declinación solar; (grado sexagesimal)

n = Número del día del año seleccionado;

- **Día del año seleccionado**

Para cálculos relacionados con la radiación solar es necesario la selección de un día y un mes específico del año, como se observa en la tabla 9, se selecciona el día del año a ser evaluado.

Para el presente proyecto se seleccionó el mes de diciembre y el día 10. Como fechas en las cuales se efectúa el período de prueba.

Tabla 11. Selección de un día (n) del año

Mes	Fecha	Día del año
Enero	17	17
Febrero	16	47
Marzo	16	75
Abril	15	105
Mayo	15	135
Junio	11	162
Julio	17	198
Agosto	16	228
Septiembre	15	258
Octubre	15	288
Noviembre	14	318
Diciembre	10	344

Fuente. (Carlos Eduardo, Magno Luiz, Fernando, & Gilson , 2016, pág. 366)

$$\delta = 23,45 \times \sin \left(360 \frac{284 + 344}{365} \right)$$

$$\delta = -11,31^\circ$$

- **Ángulo cetinal (θ_z)**

También conocido como ángulo de incidencia de radiación solar sobre la superficie terrestre en función del tiempo (Soteris, 2014, pág. 68), se obtiene mediante la siguiente relación:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \times \sin \phi + \cos \delta \times \cos \phi \times \cos \omega_s \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

θ_z = ángulo cenital solar; (grado sexagesimal)

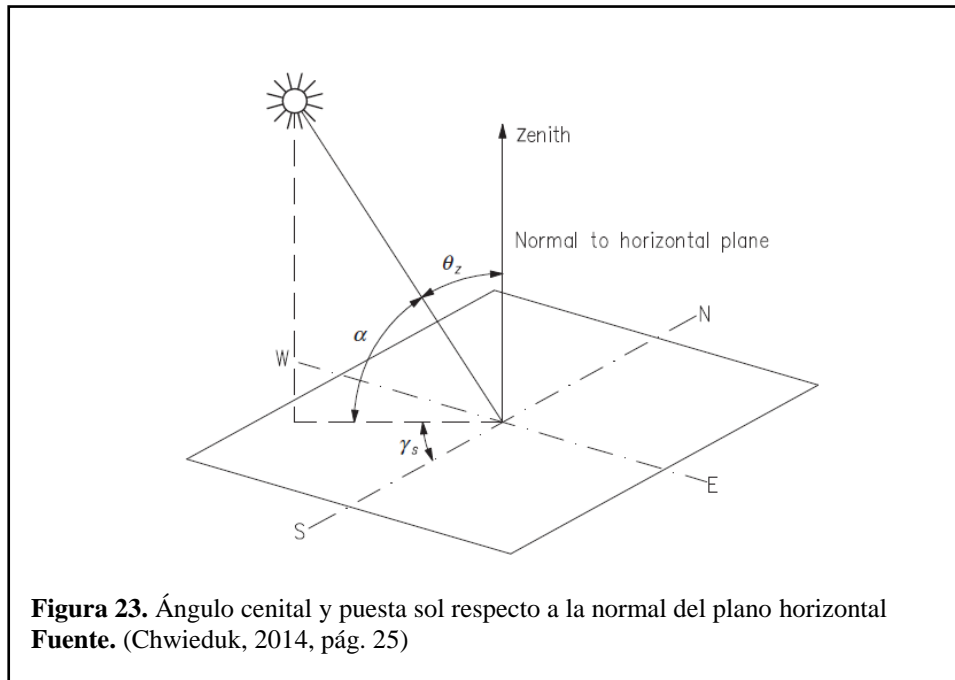
δ = declinación solar; (grado sexagesimal)

ϕ = latitud; (grado sexagesimal)

ω_s = ángulo puesta sol; (grado sexagesimal)

- **Ángulo puesta sol (ω_s)**

Como indica la figura es el ángulo en el cual se encuentra el sol con referencia al plano norma horizontal (Carlos Eduardo, Magno Luiz, Fernando, & Gilson , 2016, pág. 366).



$$w_s = \arccos(-tg \phi \times tg \delta) \quad \text{Ec.4}$$

$$w_s = \arccos(-tg - 0,085 \times tg - 11,31)$$

$$w_s = 90,017^\circ$$

Reemplazando los valores

$$\cos \theta_z = \sin -11,31 \times \sin -0,085 + \cos -11,31 \times \cos -0,085 \times \cos 90,017$$

$$\text{Ángulo cenital es: } \theta_z = 90^\circ$$

- **Ángulo acimut (γ)**

Este ángulo determina que la posición del sol en el cielo puede ser diferente cada día del año, encuentra la posición al calcular el ángulo acimut. (Soteris, 2014, pág. 60)

$$\sin \gamma = \frac{\sin w \times \cos \delta}{\sin \theta_z} \quad \text{Ec.5}$$

Donde:

γ = ángulo acimut; (grado sexagesimal)

$$\sin \gamma = \frac{\sin 90,017 \times \cos -11,31}{\sin 90}$$

$$\gamma = 78,69^\circ$$

- **Constante solar (G_{sc})**

Toda la cantidad de energía que emite el sol no llega por completo a la tierra, para un análisis sobre energía solar (John A & William A, 2013, pág. 5), esta es medida sobre la parte superior de la atmosfera y este valor medido lo llamamos constante solar que es igual:

$$G_{sc} = 1367 \frac{W}{m^2} \pm 3$$

- **Duración del día solar (T_d)**

Otro parámetro que se debe considerar es la duración del día solar ya que la inclinación de la superficie influye en el rendimiento, esta es la diferencia entre una puesta de sol y el inicio del ciclo que es el amanecer. (Duffie & Beckman, 2013, pág. 17).

$$T_d = \frac{2}{15} \arccos[-tg \phi \times tg \delta] \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

T_d = Duración del día solar; (Horas)

$$T_d = \frac{2}{15} \arccos[-tg - 0,085 \times tg - 11,31]$$

$$T_d = 12,0023 \text{ horas}$$

- Radiación solar extraterrestre (H_o)

Es la radiación que incide sobre la atmósfera en su parte superior para ser específico.

(Carlos Eduardo, Magno Luiz, Fernando, & Gilson , 2016, pág. 367)

$$H_o = \frac{24 \times 3600 \times G_{se}}{\pi} \cdot \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360 \times n}{365}\right) \right] \cdot \left[\cos \phi \times \cos \delta \times \sin w_s + \left(\frac{\pi \times w_s}{180}\right) \times \sin \phi \times \sin \delta \right]$$

Ec.7

$$H_o = \frac{24 \times 3600 \times 1367}{\pi} \cdot \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360 \times 344}{365}\right) \right] \cdot \left[\cos -0,085 \times \cos -11,31 \times \sin 90,017 + \left(\frac{\pi \times 90,017}{180}\right) \times \sin -0,085 \times \sin 90,017 \right]$$

$$H_o = 48129596,5 \frac{J}{m^2}$$

$$H_o = 13369,33 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

- Radiación solar horizontal diaria en promedio mensual (H)

Dato obtenido de la página de la NASA, como promedio de 22 años. (Stackhouse, 2016).

$$H = 4,25 \frac{kW \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

$$H = 4250 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

- **Índice de claridad (K_T)**

Relación entre la radiación solar horizontal diaria en promedio mensual y la radiación solar extraterrestre (Carlos Eduardo, Magno Luiz, Fernando, & Gilson , 2016, pág. 7), determinada por la siguiente expresión:

$$K_T = \frac{H}{H_o} \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

$$H = \text{Radiación solar horizontal diaria en promedio mensual; } \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot \text{día}} \right)$$

$$H_o = \text{Radiación solar extraterrestre; } \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot \text{día}} \right)$$

$$K_T = \text{Índice de claridad; (Adimensional)}$$

$$K_T = \frac{4250}{13369,33}$$

$$K_T = 0,32$$

- **Radiación solar difusa sobre una superficie horizontal (H_d)**

Depende directamente del índice de claridad y la radiación solar horizontal diaria en promedio mensual (Carlos Eduardo, Magno Luiz, Fernando, & Gilson , 2016). Se expresa de la siguiente forma:

$$\frac{H_d}{H} = 1,09401 - 1,21299 \times (K_T) \quad \text{Ec.9}$$

$$\frac{H_d}{4250} = 1,09401 - 1,21299 \times (0,32)$$

$$H_d = 2999,88 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot \text{día}}$$

Se multiplica por un factor de corrección (R_d), para poder obtener Radiación solar difusa sobre una superficie inclinada (H_{dT}) (Soteris, 2014, pág. 98) (Chwieduk, 2014, pág. 39), con la siguiente expresión.

$$R_d = \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \quad \text{Ec.10}$$

- **Ángulo de inclinación (β)**

Ángulo comprendido entre el colector y la superficie horizontal, para obtener un ángulo de inclinación óptimo, esté debería variar a lo largo del año, esto es porque el ángulo del sol varia cada mes (Kate , 2013, pág. 439).

Se calculó un ángulo de inclinación $\beta = 18^\circ$, dato obtenido del panel de placa plana del sistema implementado.

Reemplazando:

$$R_d = \frac{1 + \cos(18^\circ)}{2}$$

$$R_d = 0,98$$

- **Radiación solar difusa sobre una superficie inclinada (H_{dT})**

El valor de la radiación va a variar dependiendo si es sobre una superficie plana o una superficie inclinada, en este caso con la Ecuación 10, que es un factor de conversión se transforma la radiación difusa sobre plano horizontal en radiación difusa sobre plano inclinado.

$$H_{dT} = H_d \times R_d \quad \text{Ec.11}$$

Donde:

$$H_{dT} = \text{Radiación solar difusa sobre una superficie inclinada; } \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot \text{día}} \right)$$

$$H_d = \text{Radiación solar difusa sobre una superficie horizontal; } \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot \text{día}} \right)$$

$$R_d = \text{Factor de corrección para radiación difusa; (Adimensional)}$$

$$Hd_T = 2999,88 \times 0,98$$

$$Hd_T = 2939,88 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

- **Radiación solar directa sobre una superficie horizontal (H_b)**

Es la diferencia presentada entre la radiación promedio y la radiación difusa sobre un plano horizontal. (Marco , Hendrik , Matthias, & Pietro , 2016, pág. 914)

$$H_b = H - H_d \quad \text{Ec.12}$$

Donde:

$$H_b = \text{Radiación solar horizontal diaria en promedio mensual; } \left(\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right)$$

$$H_b = 4250 - 2999,88$$

$$H_b = 1250,12 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

- **Radiación solar directa sobre una superficie horizontal**

Factor de corrección para una radiación solar directa sobre una superficie inclinada (Basharat , Abid T. , & Naiem , 2016)

$$R_b = \frac{w_s \times \sin \delta \times \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \times \sin w_s \times \cos(\phi - \beta)}{w_s \times \sin \phi \times \sin \delta + \cos \phi \times \cos \delta \times \sin w_s} \quad \text{Ec.13}$$

$$R_b = \frac{90,017 \times \sin -11,31 \times \sin(-0,085 - 18) + \cos -11,31 \times \sin 90,017 \times \cos(-0,085 - 18)}{90,017 \times \sin -0,085 \times \sin -11,31 + \cos -0,085 \times \cos -11,31 \times \sin 90,017}$$

$$R_b = 6,37$$

- **Radiación solar directa sobre una superficie inclinada (H_{bT})**

El valor de la radiación va a variar dependiendo si es sobre una superficie plana o una superficie inclinada.

$$H_{bT} = H_b \times R_d \quad \text{Ec.14}$$

$$H_{bT} = 1250,12 \times 6,37$$

$$H_{bT} = 7962,36 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

Reemplazando en la Ecuación 1:

$$H_T = 7962,36 + 2939,88$$

$$H_T = 10902,2 \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$$

2.6 Cálculo de pérdidas de calor en el tanque de almacenamiento de agua

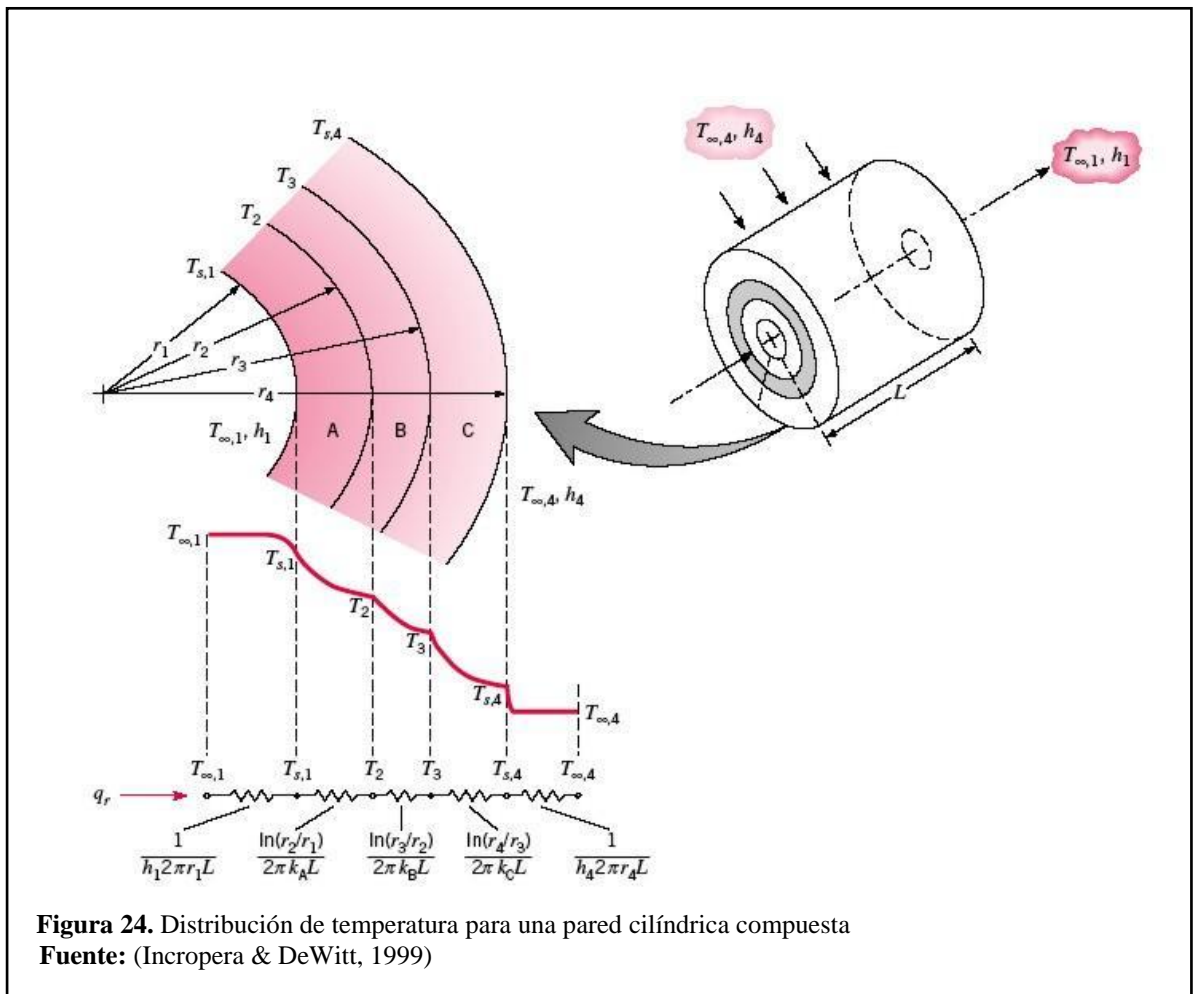
Se realiza un cálculo de pérdidas de calor en el tanque de almacenamiento, porque debido a su geometría este desaprovecha una pequeña parte de calor con lo que es necesario determinar las pérdidas de energía en todo el sistema, esto permite determinar la eficiencia del equipo.

Las pérdidas totales de calor en el tanque son dadas por conducción, convección y radiación es dada por la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{Tanque}} = Q_{\text{cond.}} + Q_{\text{conv.}} + Q_{\text{rad}} \quad \text{Ec.15}$$

En la figura 24 Se observa una representación de una sección del tanque, generalmente en sistemas radiales los cambios de temperatura se dan en la dirección radial, por lo tanto, se trata como unidimensionales, en nuestro caso bajo condiciones de estado estable se analizará con el método estándar. (Incropera & DeWitt, 1999)

- A. Placa de acero inoxidable SUS 304
- B. Aislante de poliuretano
- C. Acero Galvanizado



- **Pérdidas de calor por conducción en el tanque**

Se debe tener en cuenta que la distribución de temperaturas a través de paredes cilíndricas es logarítmica, no lineal, como sucede en las paredes planas, cuando la temperatura está en función del radio el flujo de calor se obtiene por: (Incropera & DeWitt, 1999)

$$Q_{Conducción} = \frac{T_i - T_\alpha}{R_{Total}} \quad \text{Ec.16}$$

Donde:

T_i = Temperatura en el interior del tanque; ($^{\circ}\text{C}$)

T_α = Temperatura ambiente; ($^{\circ}\text{C}$)

R_{Total} = Sumatoria de resistencias térmicas por conducción; ($\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$)

R_{Total} se calcula con cada una de los recubrimientos del tanque y esta se puede obtener por la siguiente ecuación:

$$R_{TOTAL} = R_{cond\ 1} + R_{cond\ 2} + R_{cond\ 3} \quad \text{Ec.17}$$

Como se puede observar en la figura 22. Para calcular cada una de estas resistencias en el tanque de almacenamiento se aplica la siguiente ecuación: (Cengel, 2007, pág. 152)

$$R_{Conducción} = \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2 \times \pi \times L \times k} \quad \text{Ec.18}$$

Donde:

D = Radio mayor de la capa a ser estudiada; (m)

d = Radio menor de la capa a ser estudiada; (m)

L = Longitud del cilindro; (m)

k = Coeficiente de conductividad térmica; ($\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$)

Para el coeficiente de conductividad térmica se toman los datos de la tabla 10. para realizar los cálculos antes mencionados.

Tabla 12. Coeficiente de conductividad térmica

Material	$k \left(\frac{W}{m^{\circ}C} \right)$
Poliuretano	0,026
Acero Galvanizado	53,6
Aluminio	237
Acero Inoxidable	16,3
Cobre	385
Fibra de vidrio	0,043
Agua	0,607
Vidrio	0,78

Fuente: (Cengel, 2007), (Holman, 1999)

Sustituyendo los valores en la Ec.18 para cada una de las resistencias térmicas se obtiene:

$$R_{cond3} = \frac{\ln\left(\frac{0,24}{0,23969}\right)}{2 \times \pi \times 1,82 \times 53,6}$$

$$R_{cond3} = 2,1087 \times 10^{-6} \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$R_{cond2} = \frac{\ln\left(\frac{0,23969}{0,18969}\right)}{2 \times \pi \times 1,82 \times 0,026}$$

$$R_{cond2} = 0,7869 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$R_{cond1} = \frac{\ln\left(\frac{0,18896}{0,18849}\right)}{2 \times \pi \times 1,82 \times 16,2}$$

$$R_{cond1} = 13,4432 \times 10^{-6} \frac{^{\circ}C}{W}$$

Para calcular la resistencia térmica total para conducción se utiliza la Ec.17 por lo tanto, se obtiene:

$$R_{TOTAL} = 2,1087 \times 10^{-6} + 0,7869 + 13,4432 \times 10^{-6}$$

$$R_{TOTAL} = 0,7869 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Con la ecuación 16 se obtiene las pérdidas de calor por conducción en la periferia del tanque de acumulación de agua caliente.

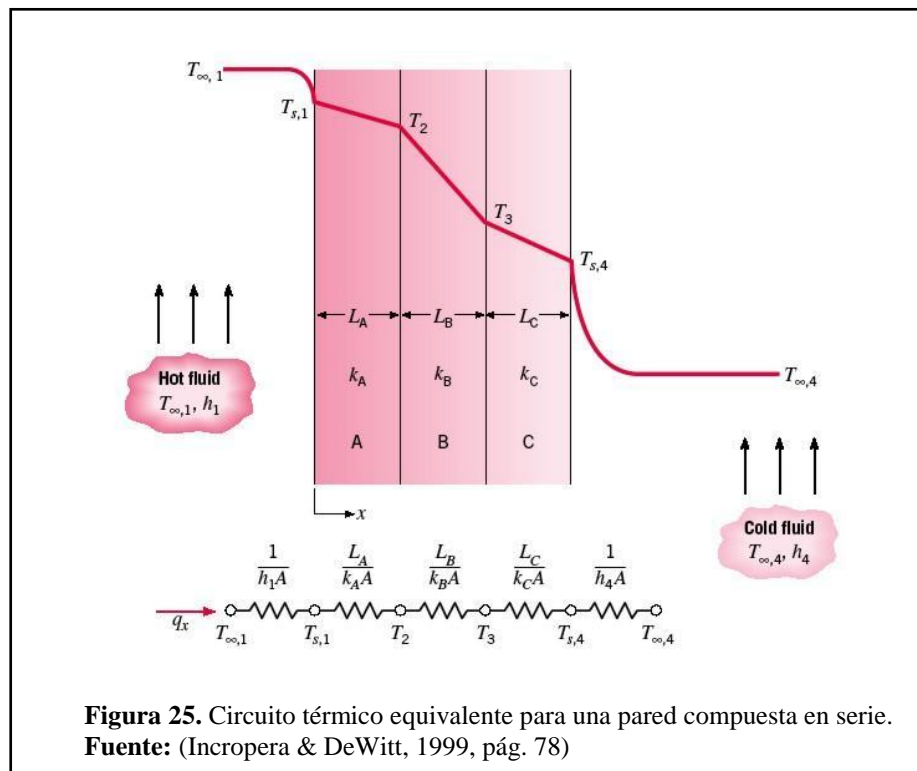
$$Q_{Conducción} = \frac{(50 - 16,56)}{0,7869}$$

$$Q_{Conducción} = 42,5 \text{ W}$$

- Pérdidas de calor en las tapas laterales del tanque de acumulación

“Los circuitos térmicos también sirven para sistemas más complejos, como las paredes compuestas” (Incropera & DeWitt, 1999) por lo tanto, se tomará como una pared compuesta en serie cada una de estas de diferentes materiales, por lo que igualmente se utilizará el método de circuitos térmicos.

- A. Placa de acero inoxidable
- B. Aislante de poliuretano
- C. Placa de plástico (Poliestireno rígido)



Con la ecuación 16 se calcula las pérdidas en las tapas del tanque, a diferencia del análisis de la R_{TOTAL} que se realiza por medio de la siguiente ecuación: (Incropera & DeWitt, 1999)

$$R = \frac{L}{k \times A} \quad \text{Ec.19}$$

Donde:

L = Espesor de la pared; (m)

k = Coeficiente de conductividad térmica; $\left(\frac{W}{m^{\circ}C}\right)$

A = Área de la pared normal al flujo de calor; (m^2)

El área de flujo de calor se calcula mediante la ecuación:

$$A = \pi \times r^2 \quad \text{Ec.20}$$

$$A = \pi \times 0,24^2$$

$$A = 0,1809 m^2$$

Con la Ec.20 se obtiene los valores de las resistencias de cada una

$$R_A = \frac{2 \times 10^{-6}}{16,3 \times 0,1809}$$

$$R_A = 6,7827 \times 10^{-7} \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$R_B = \frac{45 \times 10^{-3}}{0,026 \times 0,1809}$$

$$R_B = 9,57 \frac{^{\circ}C}{W}$$

$$R_C = \frac{3 \times 10^{-3}}{0,035 \times 0,1809}$$

$$R_C = 0,4738 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Para obtener el valor de la resistencia térmica total se sumará los valores anteriores, este valor se multiplicará por dos para ambas tapas del tanque de acumulación.

$$R_{TOTAL} = (6,7827 \times 10^{-7} + 9,57 + 0,4738) \times 2$$

$$R_{TOTAL} = 20,08 \frac{^{\circ}C}{W}$$

Con la Ec.16 se obtiene la pérdida de calor en las tapas laterales del tanque acumulador, dicho valor se sumará al cálculo de pérdida por convección en la periferia del tanque.

$$Q_{Conducción} = \frac{(50 - 16,56)}{20,95}$$

$$Q_{Conducción} = 1,59 \text{ W}$$

Para obtener el valor total de pérdidas por conducción en el tanque se suman los valores de conducción de pérdidas en la periferia y en las tapas del tanque de acumulación, se obtiene:

$$Q_{Conducción} = 42,5 + 1,59$$

$$Q_{Conducción} = 44,09 \text{ W}$$

- Pérdidas de calor por convección en el tanque de acumulación

En la práctica, en ingeniería se usa la siguiente expresión para analizar sucesos de transferencia de calor por convección: (Cengel, 2007)

$$Q_{Convección} = h \times A \times (T_s - T_{\infty}) \quad \text{Ec.21}$$

Donde:

Q = Calor transferido de la superficie al fluido circulante; (W)

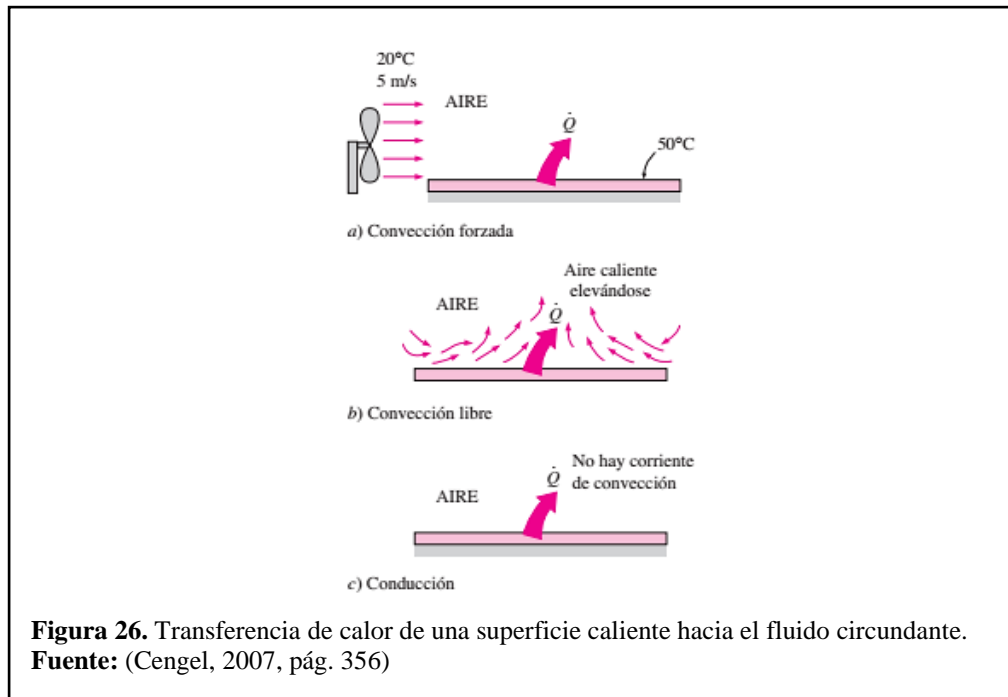
A = Área de la superficie; (m^2)

T_s = Temperatura en la superficie; ($^{\circ}C$)

T_{∞} = Temperatura del fluido circundante; ($^{\circ}C$)

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección; ($\frac{W}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$)

“Se determina que la transferencia de calor a través de un fluido es por convección cuando se tiene un movimiento masivo de este último y por conducción no existe dicho movimiento.” (Cengel, 2007, pág. 356)



El coeficiente de transferencia de calor por convección (h) según Yunus Cengel es “la razón de la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido por unidad de área superficial por unidad de diferencia en la temperatura.” (2007, pág. 357)

Para calcular el coeficiente de convección natural, se usa las ecuaciones según el método de Morgan, Churchill y Chu. (Grado en Ingeniería Mecánica, 2014)

El número de Nusselt (Nu) se podría definir como “ el mejoramiento de la transferencia de calor a través de una capa de fluido como resultado de la convección en relación con la conducción a través de la misma capa.” (Cengel, 2007)

Hay que mencionar también que el número de Nusselt es adimensional y depende de otros números adimensionales como pueden ser el número de Prandtl o de Reynolds.

El número de Grashof (Gr), es un número adimensional que se lo utiliza en la mecánica de fluidos mayormente y este es preproporcional al cociente entre las fuerzas de flotación y las fuerzas viscosas que actúan en un fluido. (Tareas Ingeniería Química, 2016)

El número de Prandtl se refiere a la “relación entre la viscosidad cinemática y la difusividad térmica del movimiento de un fluido.” (Chapman, 1984)

La Real Academia de Ingeniería define al número de Rayleigh como un “número adimensional utilizado en la transferencia de calor que indica la preponderancia de la transmisión de calor por conducción o por convección en el seno de un fluido.” (Ingeniería, s.f.)

Los números de Nusselt (Nu), Grashof (Gr), Rayleigh (Ra) y Prandtl (Pr) para cilindros horizontales son dados por: (Grado en Ingeniería Mecánica, 2014)

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \quad \text{Ec. 22}$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot D^3}{\nu^2} \quad \text{Ec. 23}$$

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

h = Coeficiente de transferencia de calor; $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$

D = Diámetro del tanque de acumulación; (m)

k = Conductividad térmica; $\left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$

g = Constante de gravedad; $\left(\frac{m}{s^2} \right)$

β = Coeficiente de expansión volumétrica; $\left(\frac{1}{T} \right)$

ΔT = Diferencia de temperatura entre superficie del tanque y aire que lo rodea; $(^\circ K)$

ν = Viscosidad cinemática; $\left(\frac{m^2}{s} \right)$

α = Difusividad térmica; $\left(\frac{m^2}{s} \right)$

La dimensión principal es el diámetro de la superficie a la cual va a estar expuesto en fluido externo.

El área total del cilindro se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$A_t = 2A_B + A_L$$

$$A_t = 2 \cdot \pi \times r^2 + 2 \cdot \pi \times r \times L$$

$$A_t = 2 \times \pi \times 0,24^2 + 2 \cdot \pi \times 0,24 \times 1,82$$

$$A_t = 3,11m^2$$

Con una temperatura ambiente promedio en la ciudad de Quito de 16,56°C y la temperatura promedio de la superficie del tanque a 25°C, se obtiene la diferencia de temperatura de 20,78°C.

Datos del aire a 20,78 °C, interpolando se obtiene:

$$k = 0,02519 \text{ W/m}^\circ \cdot K$$

$$\nu = 1,523 \times 10^{-5} \text{ m}^2/s$$

$$\alpha = 2,084 \times 10^{-5} \text{ m}^2/s$$

$$\text{Pr} = 0,7307$$

Fuente: (Cengel, 2007, pág. 860)

Por lo tanto, se obtiene:

$$Gr = \frac{9,81 \times \frac{1}{293} \times (298 - 289,56) \times (0,48)^3}{(1,523 \times 10^{-5})^2}$$

$$Gr = 1,3437 \times 10^8$$

Para el calculo del número de Rayleigh, se tiene:

$$Ra = 1,3437 \times 10^8 \times 0,7307$$

$$Ra = 9,8184 \times 10^7$$

El número de Nusselt para un cilindro horizontal, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2 \quad \text{Ec. 25}$$

$$0 \leq Pr \leq \infty // 10^{-5} \leq Ra \leq 10^{12}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,387 \cdot (1,10549 \times 10^8)^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,7309} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right]^2$$

$$Nu = 56,48$$

Reemplazando en la Ec.22 se obtiene:

$$h = \frac{56,48 \times 0,02514}{0,48}$$

$$h = 2,96 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

Por lo tanto, para encontrar las pérdidas por conducción en el tanque de almacenamiento con la Ec.21.

$$Q_{Convección} = 2,96 \times 3,11 \times (25 - 16,56)$$

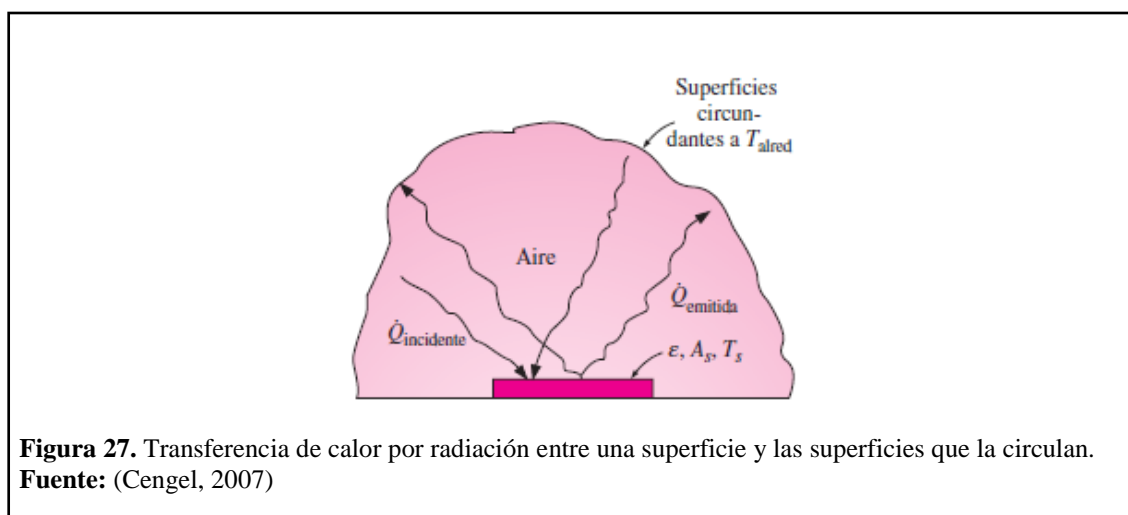
$$Q_{Convección} = 77,69 \text{ W}$$

- Pérdidas de calor por radiación en el tanque de acumulación

La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas debido a la variación en las configuraciones de los átomos, la radiación no requiere la presencia de un medio inventor. (Cengel, 2007, pág. 27)

En transferencia de calor se limita el estudio a la radiación electromagnética debido a una diferencia de temperaturas, esto se lo conoce como radiación térmica. (Holman, 1999)

Se realizará el cálculo considerando que la superficie está a una temperatura determinada, esta se encuentra por completo encerrada por una superficie mucho más grande, a una temperatura termodinámica y separada por un gas en este caso el aire.



Para obtener las pérdidas de calor por radiación en el tanque de acumulación se da por la siguiente ecuación. (Cengel, 2007)

$$Q_{Radiación} = \varepsilon \times \sigma \times A_s \times (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad \text{Ec.26}$$

Donde:

$\varepsilon = 0,17$ La emisividad de la placa que cubre al poliuretano

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K^4}$ Constante de Stefan-Boltzmann

A_s = Área superficial del tanque de acumulación; (m^2)

T_s = Temperatura superficial del tanque; ($^\circ K$)

T_{alred} = Temperatura de los alrededores; ($^\circ K$)

Reemplazando los valores en la Ec.26 se obtiene:

$$Q_{Radiación} = 0,17 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 3,11 \times (303,15^4 - 289,56^4)$$

$$Q_{Radiación} = 42,44 \text{ W}$$

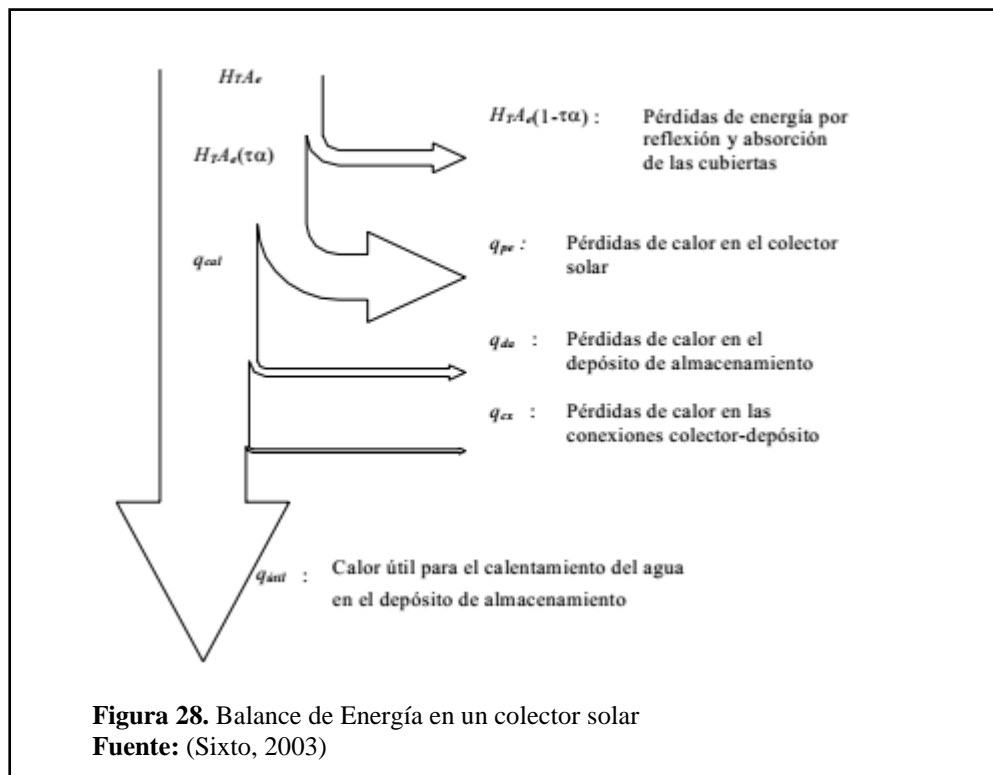
Una vez calculados todos los valores de pérdidas de calor en el tanque de acumulación se reemplaza en la ecuación 15 para obtener las pérdidas totales, se obtiene:

$$Q_{Tanque} = 44,09 + 77,69 + 42,44$$

$$Q_{Tanque} = 164,22 \text{ W}$$

2.7 Análisis del rendimiento energético en el colector solar

Haciendo un balance energético se puede obtener el calor incidente en el colector de placa plana, las pérdidas térmicas y la energía útil para el posterior cálculo de la eficiencia del colector de placa plana.



En la Figura 28. Se puede observar el balance de energía en un colector solar donde el calor útil que absorbe la placa captadora y tubos, para este transmitir hacia el fluido, el calor perdido mediante un análisis de resistencias térmicas y la energía reflejada.

En estado estacionario, el balance de energía se puede obtener aplicando la siguiente ecuación: (Fauroux, Díaz, Blanco, & Degaetani, 2016)

$$Q_{incid} = Q_u + Q_L + \frac{du}{dt} \quad \text{Ec. 27}$$

Donde:

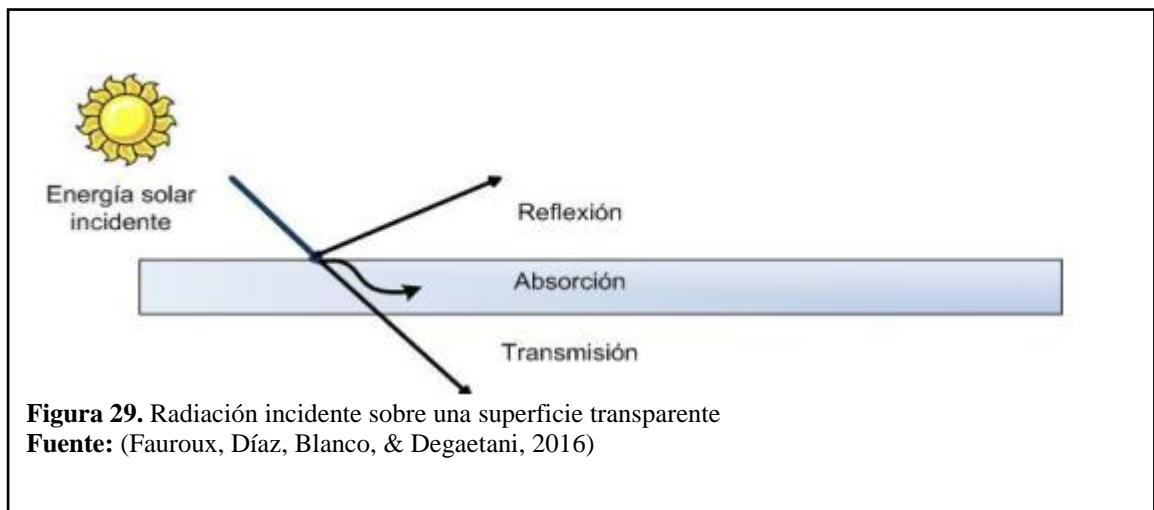
Q_{incid} = Calor absorbido por el colector

Q_u = Energía útil en el colector

Q_L = Calor perdido por la placa captadora

$\frac{du}{dt}$ = Cambio de energía interna del colector (despreciable)

La energía incidente se aprovecha el colector, esta cuando incide en una superficie transparente, parte de ella se absorbe, otra se refleja y en mayor proporción se transmite. Estos dependerán de las características de los materiales. (Fauroux, Díaz, Blanco, & Degaetani, 2016)



La cantidad de calor incidente de calor sobre el colector se determina mediante la siguiente ecuación: (Pedro, s.f.)

$$Q_{inc} = I_s \times A \times k_c \times (\tau \times \alpha) \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

I_s = Cantidad de energía incidente sobre el colector; $\left(\frac{W}{m^2} \right)$

A = Superficie del colector; (m^2)

k_c = Factor de conversión de la radiación solar; (adimensional)

τ = Transmitancia solar efectiva de la cubierta del colector; (adimensional)

α = Absortancia solar de la placa absorbente del colector; (adimensional)

El factor k resulta útil para calcular los valores en una superficie inclinada, ya que los datos obtenidos de la radiación solar en Quito son sobre superficies horizontales.

Tabla 13. Valores k para latitud=0°

Incl	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5°	1,02	1,01	1	0,98	0,97	0,96	0,97	0,98	1	1,01	1,02	1,02
15°	1,04	1,01	0,97	0,92	0,88	0,87	0,88	0,92	0,97	1,02	1,05	1,05
20°	1,04	1	0,95	0,88	0,83	0,81	0,83	0,88	0,95	1,01	1,05	1,06

Fuente: (Censolar, s.f.)

Las coordenadas de la localización del proyecto son latitud 0°15'S y longitud de 78°35'W, el panel será instalado con un ángulo de 18° y calculados para el mes de diciembre por lo que se tomará los valores de la tabla 10. Para obtener el valor k .

Para el colector solar se tomarán los datos del fabricante:

$A = 1.81$; (m^2)

$k = 0,041$; $\left(\frac{W}{m^{\circ}C} \right)$ Lana de vidrio

$\alpha = 0,95$ y $\varepsilon_p = 0,12$ Cromo negro

$\tau = 0,75$ y $\varepsilon_c = 0,88$ vidrio de bajo contenido de carbono

$\angle = 18^\circ$ Ángulo de inclinación del colector

Separación entre placas = 30 mm

Por lo tanto, de la Ec.28 se obtiene la radiación incidente sobre el colector.

$$Q_{inc} = 454,26 \times 1,81 \times 1,06 \times (0,75 \times 0,95)$$

$$Q_{inc} = 620,98W$$

2.8 Pérdidas de calor en el colector solar

La energía perdida en un colector se distribuye en pérdidas por arriba, abajo, los lados como se muestra en la figura siguiente:

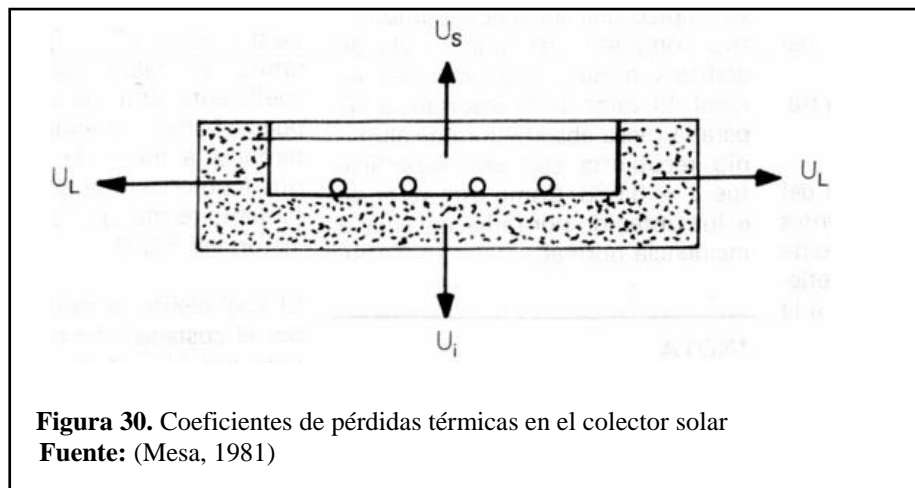


Figura 30. Coeficientes de pérdidas térmicas en el colector solar
Fuente: (Mesa, 1981)

Con la siguiente ecuación se obtiene el coeficiente de pérdidas totales: (Duffie & Beckman, 2013)

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad \text{Ec.29}$$

Donde:

U_t = Coeficiente de pérdidas superior del colector

U_b = Coeficiente de pérdidas inferiores del colector

U_e = Coeficiente de pérdidas laterales del colector

Para la mayoría de los colectores planos el análisis de pérdidas laterales es complicado. Sin embargo en sistema bien diseñado, las pérdidas laterales son pequeñas (despreciables), por lo tanto no es necesario predecirlo con gran precisión. (Duffie & Beckman, 2013)

Para el cálculo de las pérdidas de la parte inferior esta definido por la siguiente ecuación:

$$U_b = \frac{k}{L} \quad \text{Ec.30}$$

Reemplazando los valores se obtiene:

$$U_b = \frac{0,041}{0,03}$$

$$U_b = 1,366 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

Para calcular el coeficiente de convección natural entre placas paralelas, se usa las siguientes ecuaciones según el método propuesto por Duffie y Beckman. (2013)

Los números de Nusselt, Rayleigh, and Prandtl son dados por:

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad \text{Ec.31}$$

$$Ra = \frac{g\beta' \Delta T L^3}{\nu \alpha} \quad \text{Ec.32}$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad \text{Ec.33}$$

Donde:

h = Coeficiente de transferencia de calor; $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K} \right)$

L = Espaciamiento entre placas; (m)

k = Conductividad térmica; $\left(\frac{W}{m \cdot ^\circ K} \right)$

$$g = \text{Constante de gravedad; } \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$\beta' = \text{Coeficiente de expansión volumétrica; } \left(\frac{1}{T} \right)$$

$$\Delta T = \text{Diferencia de temperatura entre las placas; } (^{\circ}K)$$

$$\nu = \text{Viscosidad cinemática; } \left(\frac{m^2}{s} \right)$$

$$\alpha = \text{Difusividad térmica; } \left(\frac{m^2}{s} \right)$$

Considerando que la Temperatura de la placa principal se encuentra a unos 60°C y la temperatura en el captador a 50°C, por lo tanto la temperatura principal del aire es 55°C, las propiedades del aire a esta temperatura son las siguientes:

Interpolando los datos para una temperatura de 55°C se obtiene:

$$k = 0.027715 \text{ W/m}^{\circ} \cdot K$$

$$\nu = 1,847 \times 10^{-5} \text{ m}^2/s$$

$$\alpha = 2,5595 \times 10^{-5} \text{ m}^2/s$$

Fuente: (Cengel, 2007, pág. 860)

$$Ra = \frac{9,81 \times \frac{1}{328} \times (333 - 323) \times (0,03)^3}{1,84 \times 10^{-5} \times 2,5595 \times 10^{-5}}$$

$$Ra = 17146,9$$

Para el cálculo del número de Nusselt se aplica la siguiente fórmula propuesta por Duffie y Beckman. (2013)

$$Nu = 1 + 1,44 \times \left[1 - \frac{1708 \times (\sin \beta)^{1,6}}{Ra \times \cos \beta} \right] \times \left[1 - \frac{1708}{Ra \times \cos \beta} \right] + \left[\left(\frac{Ra \times \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

Ec.34

Reemplazando los valores en la ecuación anterior se obtiene:

$$Nu = 1 + 1,44 \times \left[1 - \frac{1708 \times (\sin(18^\circ) \times 1,8)^{1,6}}{17146,9 \times \cos 18^\circ} \right] \times \left[1 - \frac{1708}{17146,9 \times \cos 18^\circ} \right] + \left[\left(\frac{17146,9 \times \cos 18^\circ}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]$$

$$Nu = 2,65$$

Por lo tanto, el coeficiente de convección entre las dos placas paralelas es:

$$h_{c,p-c} = \frac{2,65 \times 0,027715}{0,03}$$

$$h_{c,p-c} = 2,45 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Como se citó anteriormente la temperatura y la velocidad promedio del aire en la ciudad de Quito es de 16,56°C y 2,64 km/h respectivamente, para obtener el coeficiente de convección del aire se utilizara la ecuación: (Duffie & Beckman, 2013, pág. 163)

$$h_w = 5,7 + 3,8 \times V$$

Ec.35

Donde:

$$V = \text{Velocidad del viento; } \left(\frac{m}{s} \right)$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$h_w = 5,7 + 3,8 \times 0,733$$

$$h_w = 8,47 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Para obtener el coeficiente de pérdida de calor total para un colector con cubierta de un solo vidrio, se establece como: (Duffie & Beckman, 2013)

$$U_t = \left(\frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \right)^{-1} \quad \text{Ec.36}$$

Donde:

$h_{c,p-c}$ = Coeficiente de convección de la placa a la cubierta de vidrio

$h_{r,p-c}$ = Coeficiente de radiación de la placa a la cubierta de vidrio

h_w = Coeficiente de convección del aire

$h_{r,c-a}$ = Coeficiente de radiación de la cubierta de vidrio al aire

El coeficiente de radiación de la placa a la cubierta $h_{r,p-c}$ se da por la ecuación: (Duffie & Beckman, 2013)

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma \times (T_p^2 + T_c^2) \times (T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad \text{Ec.37}$$

Donde:

T_p = Temperatura de la placa

T_c = Temperatura de la cubierta de vidrio

El coeficiente de radiación de la cubierta de vidrio al aire está dado por: (Duffie & Beckman, 2013)

$$h_{r,c-a} = \varepsilon_c \sigma \times (T_c^2 + T_s^2) \times (T_c + T_s) \quad \text{Ec.38}$$

Donde:

T_s = Temperatura ambiente promedio

Para obtener la temperatura de la cubierta de vidrio se da mediante: (Duffie & Beckman, 2013)

$$T_c = T_p - \frac{U_t \times (T_p - T_a)}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} \quad \text{Ec.39}$$

Donde:

$T_a = T_p - T_s$

Reemplazando datos en la Ec.37 se obtiene:

$$h_{r,p-c} = \frac{5,67 \times 10^{-8} (343^2 + 323^2) \times (343 + 323)}{\frac{1}{0,12} + \frac{1}{0,88} - 1}$$

$$h_{r,p-c} = 0,95 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}$$

Reemplazando datos en la Ec.38 se obtiene:

$$h_{r,c-a} = 0,88 \times 5,67 \times 10^{-8} \times (323^2 + 289,56^2) \times (323 + 289,56)$$

$$h_{r,c-a} = 5,75 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

De la Ec.36 con los resultados calculados, se obtiene el coeficiente de pérdidas totales.

$$U_t = \left(\frac{1}{2,45 + 0,95} + \frac{1}{5,75 + 8,47} \right)^{-1}$$

$$U_t = 2,74 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Para obtener la temperatura estimada de la cubierta de vidrio del colector se utiliza la Ec.39 y se obtiene:

$$T_c = 60 - \frac{2,74 \times (60 - 15)}{2,45 + 0,95}$$

$$T_c = 23,74^\circ C$$

Con este nuevo estimado de la temperatura de la cubierta, se vuelven a calcular los coeficientes de convección y radiación, obteniendo:

$$h_{c,p-c} = 2,36 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}, \quad h_{r,p-c} = 0,8 \frac{W}{m \cdot ^\circ K}, \quad h_{r,c-a} = 5,03 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

La estimación final de U_t es:

$$U_t = 2,56 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Por lo tanto, con la Ec.29 se obtiene el coeficiente total de energía perdida en el sistema.

$$U_L = 2,56 + 1,37$$

$$U_L = 3,93 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

Para obtener la energía perdida en el colector se utiliza la ecuación: (Mesa, 1981)

$$Q_L = U_L \times A_c \times (T_c - T_s) \quad \text{Ec.40}$$

Reemplazando valores, se obtiene la energía perdida por el colector:

$$Q_L = 3,93 \times 1,81 \times (23,74 - 16,56)$$

$$Q_L = 51,07 \text{ W}$$

De la Ec.27 se puede obtener la Q_u por lo tanto, al reemplazar valores se obtiene:

$$Q_u = 620,98 - 51,07$$

$$Q_u = 569,91 \text{ W}$$

Para obtener el rendimiento del colector se utiliza la siguiente expresión: (Luis, Jager, & Mariano, s.f.)

$$\eta = \frac{Q_u}{H_T \times A_c} \quad \text{Ec.41}$$

Por lo tanto, se obtiene:

$$\eta = \frac{569,91}{454,26 \times 1,81}$$

$$\eta = 0,6931$$

$$\eta = 69,31\%$$

Para obtener el rendimiento total del sistema se toma en cuenta las pérdidas en el colector y tanque por lo que se obtiene:

$$Q_{Total} = Q_{Tanque} + Q_L$$

$$Q_{Total} = 164,22 + 51,07$$

$$Q_{Total} = 215,29 \text{ W}$$

Para calcular la eficiencia del sistema, sin el uso de la resistencia eléctrica se usa la siguiente ecuación: (Jiménez & Chacha, 2014)

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{inc}} \quad \text{Ec.42}$$

Con la Ec.42 se obtiene el rendimiento total del sistema, por lo tanto:

$$\eta = \frac{405,69}{620,98}$$

$$\eta = 0,6533$$

$$\eta = 65,33\%$$

2.9 Sistema de apoyo del calentador solar.

Para asegurar un abastecimiento continuo de ACS, las instalaciones de energía solar deben disponer de un sistema de energía auxiliar. En nuestro caso se utilizará una resistencia eléctrica, esta entrara en funcionamiento cuando sea estrictamente necesario ya que el fin de este proyecto es que se aproveche lo máximo posible la energía solar.

En el tanque de acumulación del sistema solar se instalará una resistencia eléctrica, la cual se encargará de abastecer de energía al agua almacenada en el tanque, cuando por situaciones climáticas no exista la suficiente radiación solar para un uso óptimo del sistema.

El objetivo del sistema de apoyo será calentar el agua a 60°C cuando este no llegue a esta temperatura por falta de radiación solar.

2.9.1 Selección de la resistencia eléctrica

- Consumo máximo diario

Como el consumo de agua a lo largo del día no es constante, se realizará un análisis para determinar las horas en las que se da mayor consumo, como se puede ver en la figura 29. El 75% del consumo se comprende entre las 17 y las 20 horas.

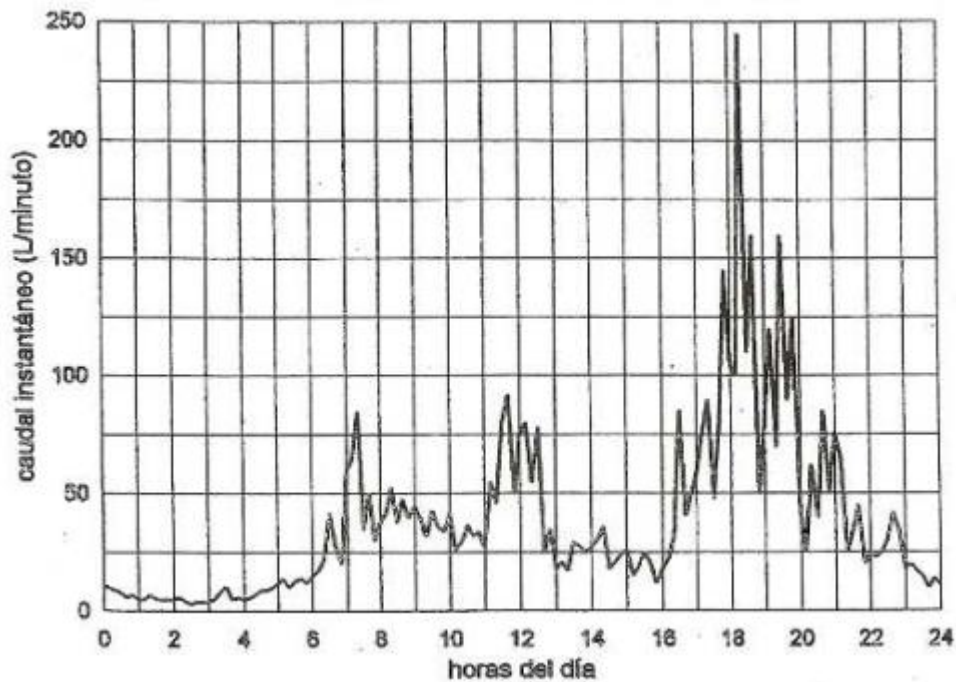


Figura 31. Caudal instantáneo de agua para las diferentes horas del día.
Fuente: (Fuentes, 2009)

Por lo tanto, el consumo máximo diario será:

$$Q_p = 0,75 \times Q_D \quad \text{Ec.43}$$

$$Q_p = 0,75 \times 164 \frac{l}{\text{día}}$$

$$Q_p = 123 \frac{l}{\text{día}}$$

- **Potencia térmica para generación de ACS**

Se determinará el calor necesario que se requiere para elevar la temperatura del agua de 15°C hasta los 60°C, en un plazo máximo de 2h30min para determinar la potencia eléctrica necesario para el acumulado de 200 litros, se utiliza la siguiente ecuación según (Cengel, 2007):

$$Q = m \times C_v \times \Delta T \quad \text{Ec.44}$$

Donde:

m = masa; (kg)

C_v = Calor específico a volumen constante; $\left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ K} \right)$

ΔT = Cambio de temperatura en el sistema; ($^\circ C$)

Reemplazando los valores en la Ec. 44 se obtiene:

$$Q = 200 \times 4,18 \times (60 - 15)$$

$$Q = 37620 \text{ kJ}$$

Como se requiere calentar los 200 litros en 2,5 horas, la potencia calorífica sería de:

$$Q = \frac{37620 \text{ kJ}}{2,5h} = 15048 \frac{\text{kJ}}{h}$$

Por lo tanto, los watts necesarios se obtendrán sabiendo que:

1 Julio = 1 Watt x Seg

$$Q = 4180 \text{ W}$$

Mediante la ley de ohm se puede obtener los ohmios de la resistencia eléctrica, la cual se obtiene mediante:

$$R = \frac{W}{I^2} \quad \text{Ec.45}$$

Donde:

I = Intensidad eléctrica; (A)

R = Resistencia eléctrica; (Ω)

Reemplazando valores en la Ec.45, tenemos:

$$R = \frac{37620 \times 10^3 J}{18^2}$$

$$R = 12,9 \ \Omega$$

En el tanque acumulador de agua se instalará una resistencia de 4,18 kW, para tener una referencia en gasto eléctrico se transformará esta cantidad a kWh, para calcular el gasto de energía en dólares.

Tomando:

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 J$$

Fuente: (RapidTables, s.f.)

$$Q = 10,45 \text{ kWh}$$

De acuerdo del tarifario de la Empresa Eléctrica Quito, el coste de 1 kWh varía dependiendo del rango de consumo como se puede ver en la tabla 14.

Tabla 14. Pliego tarifario enero 2016

RANGO DE CONSUMO (kWh)	CARGOS TARIFARIOS (US\$)	DESCRIPCIÓN
TARIFAS BAJAS Y MEDIA TENSIÓN		
RESIDENCIAL		Se aplica a los consumidores sujetos a la categoría de Tarifa Residencial, independiente de la carga conectada. Por cada kWh de consumo en el mes
0 - 50	0,0784	Por cada kWh
51 - 100	0,0814	Por cada uno de los siguientes 50 kWh
101 - 150	0,0834	Por cada uno de los siguientes 50 kWh
151 - 200	0,0904	Por cada uno de los siguientes 50 kWh
201 - 250	0,0974	Por cada uno de los siguientes 50 kWh
251 - 500	0,0994	Por cada uno de los siguientes 250 kWh
501 - 700	0,1285	Por cada uno de los siguientes 200 kWh
701 - 1000	0,145	Por cada uno de los siguientes 300 kWh
1001 - 1500	0,1709	Por cada uno de los siguientes 500 kWh
1501 - 2500	0,2752	Por cada uno de los siguientes 1000 kWh
2501 - 3500	0,436	Por cada uno de los siguientes 1000 kWh
3501 y superior	0,6812	Por cada uno de los siguientes kWh

Fuente: (Empresa Eléctrica Quito, 2016)

Según INEC, el consumo promedio mensual de electricidad de los hogares ecuatorianos en el año 2015 fue de USD \$18,84. (2015)

Partiendo del dato anterior se puede decir que el rango de consumo mensual de un hogar ecuatoriano se encuentra entre 151-200kWh, por lo tanto, para cálculos posteriores se tomará USD \$0,0904 el valor de 1 kWh.

- **Tiempo necesario**

La resistencia eléctrica realiza un trabajo en un determinado tiempo, para calcular dicho tiempo se tomará en consideración que la intensidad y la tensión eléctrica son constantes, por lo tanto, se obtiene: (Universidad de Sevilla, 2015)

$$t = \frac{Q}{I \times \Delta V} \quad \text{Ec.46}$$

Donde:

Q = Energía utilizada; (J)

I = Intensidad eléctrica; (A)

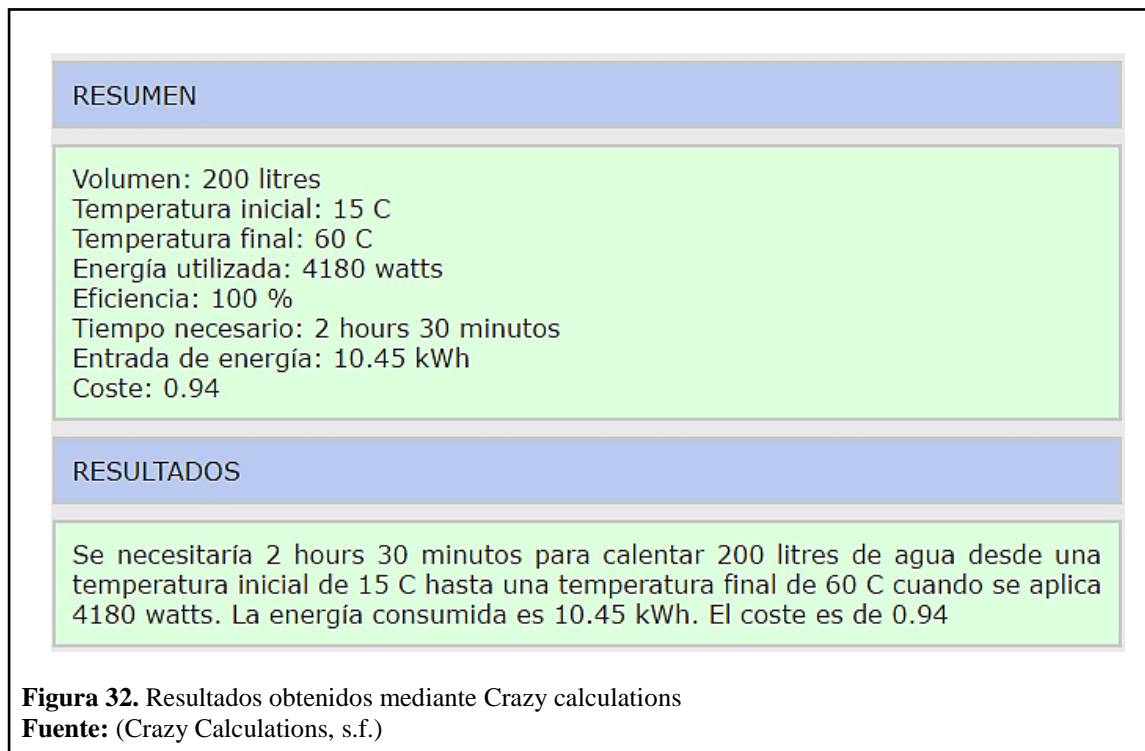
ΔT = Tensión eléctrica; (v)

Reemplazando valores en la Ec.46 se obtiene el tiempo en calentar el agua, por lo tanto:

$$t = \frac{37620 \times 10^3 J}{18 \times 220}$$
$$t = 9500 s = 2h37 \text{ min}$$

El costo de calentar 200 litros de agua desde una temperatura de 15°C hasta los 60°C, utilizando una resistencia de 4,18kW sería de USD \$0,94 con un tiempo de 2 horas con 37minutos.

Estos resultados se pueden comprobar mediante la página web crazycalculations.com, obteniendo los siguientes resultados:



2.10 Pérdidas hidráulicas en el sistema

El sistema funciona en un conjunto de tubos y accesorios por los cuales se transporta el agua para uso doméstico, el paso del fluido por la tubería y accesorios genera pérdidas dentro del sistema, (Yunus & John, 2006, pág. 347) estas pérdidas se las clasifica en dos tipos:

-Pérdidas mayores: Son las que se presentan a lo largo de la tubería.

-Pérdidas menores: Se presentan al pasar por los distintos accesorios que el sistema tenga.

Se obtuvo del sistema los siguientes datos:

$$Q = 0,166 \frac{l}{s} \Rightarrow 0,000166 \frac{m^3}{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Tubería de } \frac{1}{2}'' \quad \phi_{\text{int}} &= 13,4mm \\ A &= 0,000141 m^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tubería de } \frac{3}{4}'' \quad \phi_{\text{int}} &= 18,4mm \\ A &= 000266 m^2 \end{aligned}$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal; } \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$\phi_{\text{int}} = \text{Diámetro Interior; (mm)}$$

$$A = \text{Área de la tubería; (m}^2\text{)}$$

Se obtiene la velocidad (v_l) con la ecuación de tasa de flujo volumétrico, (Robert, 206, pág. 2)

$$Q = A \times v \quad \text{Ec.47}$$

Donde:

$$v = \text{Velocidad de fluido; } \left(\frac{m}{s} \right)$$

Reemplazando:

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0,000166}{0,000141}$$

$$v_1 = 1,177 \frac{m}{s}$$

Con la ecuación de la continuidad para cualquier fluido, (Robert, 206, pág. 3), se calcula la velocidad (v_2)

$$\rho_1 \times v_1 \times A_1 = \rho_2 \times v_2 \times A_2 \quad \text{Ec.48}$$

Donde:

$$\rho = \text{Densidad de fluido; } \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

En este caso $\rho_1 = \rho_2$, por lo tanto, se eliminan y se calcula (v_2)

$$v_2 = \frac{v_1 \times A_1}{A_2} = \frac{1,177 \times 0,000141}{0,000266}$$

$$v_2 = 0,624 \frac{m}{s}$$

2.11 Pérdida de carga en tubería de agua fría

- Pérdida de carga en cambio de sección

Cuando existe cambio de sección en un sistema que transporta un fluido, por el motivo que se presenta varios cambios como: el área, la velocidad del fluido, entre otros, hace que existe pérdidas menores. (Irving, 1995, pág. 335)

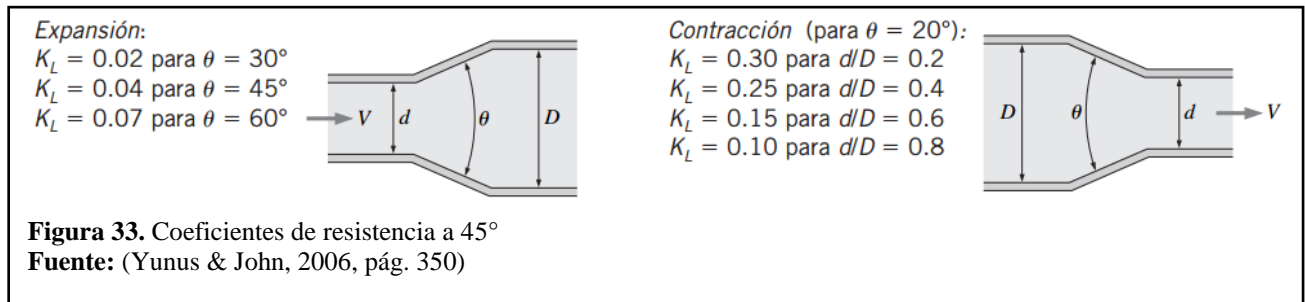
$$h_{Ls} = k \times \left(\frac{v_2^2}{2 \times g} \right) \quad \text{Ec.49}$$

Donde:

h_{Ls} = Pérdida menor en cambio de sección; (m)

k = coeficiente de resistencia; (adimensional)

g = Constante de la Gravedad; $\left(9,81 \frac{m}{s^2}\right)$



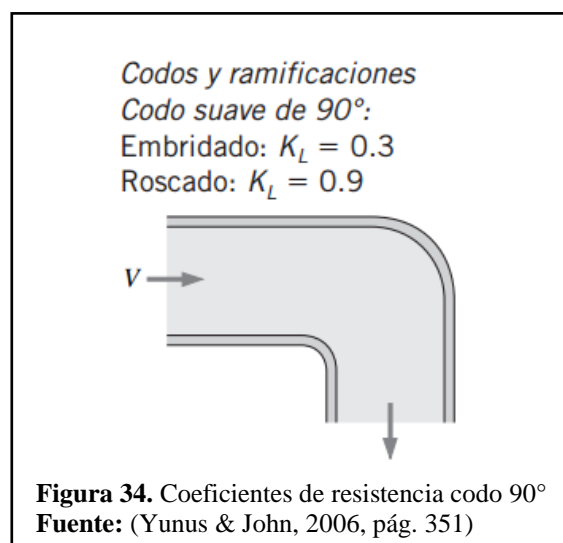
De la figura 33 se obtiene el valor de k a 45° y reemplazamos en la Ec.45.

$$h_{Ls} = 0,04 \times \left(\frac{0,624^2}{2 \times 9,81} \right)$$

$$h_{Ls} = 0,000795 \text{ m}$$

- Pérdida de carga en codos 90°

Este sistema cuenta con 5 codos roscados de 90° a lo largo de su trayectoria, por los cuales el fluido pasara y presentara pérdidas. Con la figura 34 se podrá determinar el valor de K para el presente caso. (Yunus & John, 2006, pág. 351)



$$h_{Lc} = k \times n \times \left(\frac{v_1^2}{2 \times g} \right) \quad \text{Ec.50}$$

Donde:

h_{Lc} = Pérdida menor en codos; (m)

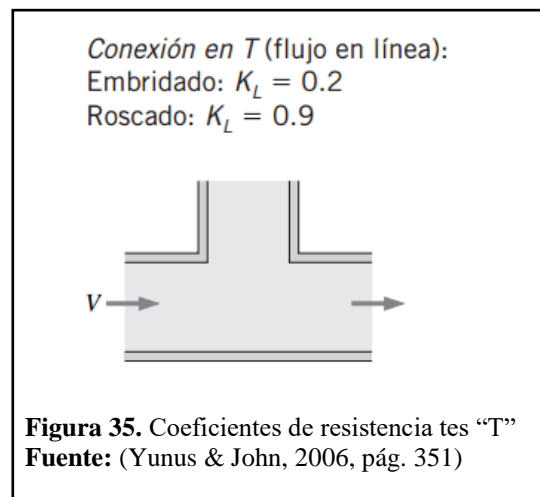
n = Número de codos

$$h_{Lc} = 0,9 \times 5 \times \left(\frac{1,177^2}{2 \times 9,81} \right)$$

$$h_{Lc} = 0,318m$$

- Pérdida de carga en “T”

Al igual que los codos, las tes (“T”) en el sistema deben ser consideradas para el cálculo de pérdidas menores.



La figura 35 indica el coeficiente de resistencia para una “T” de flujo en línea roscado. (Yunus & John, 2006, pág. 351)

$$h_{Lt} = k \times \left(\frac{v_1^2}{2 \times g} \right) \quad \text{Ec.51}$$

Donde:

h_{Lt} = Pérdida menor en tes (“T”); (m)

$$h_{Lt} = 0,9 \times \left(\frac{1,177^2}{2 \times 9,81} \right)$$

$$h_{Lt} = 0,0635m$$

- **Pérdida de energía a lo largo de la tubería**

Como último paso queda calcular las pérdidas a lo largo de la tubería, el cual se lleva a cabo con la siguiente ecuación, (Yunus & John, 2006, pág. 348):

$$h_L = f \times \frac{L_{eq}}{D} \times \left(\frac{v_1^2}{2 \times g} \right) \quad \text{Ec.52}$$

Donde:

h_L = Pérdida mayor a lo largo de la tubería; (m)

f = Factor de fricción; (Adimensional).

L_{eq} = Longitud equivalente; (m).

D = Diámetro tubería; (m).

El factor de fricción se obtiene, (Robert, 2006, pág. 297), para una tubería de ½"

$$f = 0,027$$

La longitud equivalente se la toma del sistema implementado.

$$L_{eq} = 12,54m$$

Reemplazando valores en la ecuación 48:

$$h_L = 0,027 \times \frac{12,54}{0,0134} \times \left(\frac{1,177^2}{2 \times 9,81} \right)$$

$$h_L = 1,78m$$

Las pérdidas totales del sistema en la tubería de agua fría son:

$$h_{L,total} = h_{Ls} + h_{Lc} + h_{lt} + h_L$$

$$h_{L,total} = 0,000795 + 0,318 + 0,0635 + 1,78$$

$$h_{L,total} = 2,16m$$

2.12 Pérdida de carga en tubería de agua caliente

- Pérdida de carga en cambio de sección

Al igual que en la tubería de agua fría se realiza los cálculos independientes de cada tramo de tubería con sus respectivos accesorios. Empezando por el cambio de sección.

De la figura 27 se obtiene el valor de k a $\frac{d}{D} = \frac{13,4}{18,4} = 0,728 \approx 0,8$ seleccionado $k = 0,10$

Reemplazamos en la Ec.45.

$$h_{Ls} = 0,10 \times \left(\frac{1,177^2}{2 \times 9,81} \right)$$
$$h_{Ls} = 0,00706 \text{ m}$$

- Pérdida de carga en codos 90°

Este tramo de tubería cuenta con 7 codos roscados de 90° a lo largo de su trayectoria.

La figura 28 indica el valor de K y se reemplaza valores en Ec.46

$$h_{Lc} = 0,9 \times 7 \times \left(\frac{1,177^2}{2 \times 9,81} \right)$$
$$h_{Lc} = 0,445 \text{ m}$$

- Pérdida de energía a lo largo de la tubería

Calcular las pérdidas a lo largo de la tubería, el factor de fricción se obtiene, (Robert, 206, pág. 297), para una tubería de ½"

$$f = 0,027$$

La longitud equivalente se la toma del sistema implementado.

$$L_{eq} = 10,9m$$

Reemplazando valores Ec. 48:

$$h_L = 0,027 \times \frac{10,9}{0,0134} \times \left(\frac{1,177^2}{2 \times 9,81} \right)$$

$$h_L = 1,55m$$

Se calcula el valor total de pérdidas en el sistema de agua caliente.

$$h_{L,total} = h_{Ls} + h_{Lc} + h_L$$

$$h_{L,total} = 0,00706 + 0,445 + 1,55$$

$$h_{L,total} = 2,002m$$

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE RESULTADOS

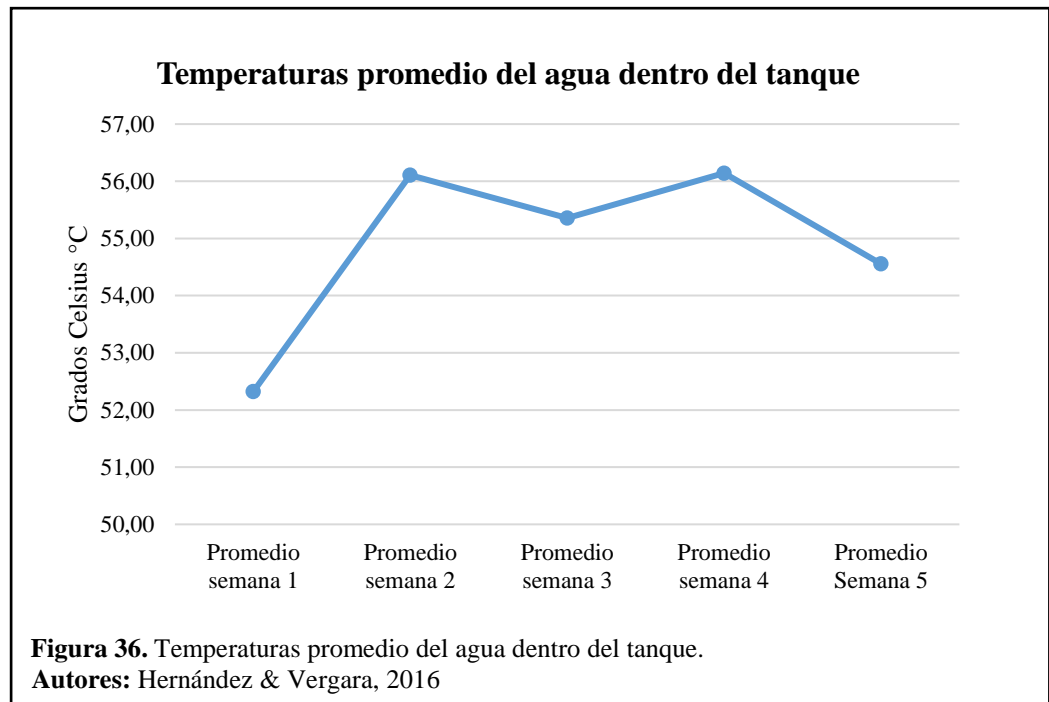
3.1 Análisis de resultados

El equipo fue evaluado en un periodo comprendido entre 5 semanas en las cuales el comportamiento del mismo ha sido muy irregular, a continuación, se muestra los diferentes comportamientos de las temperaturas reales medidas en: Agua dentro del tanque, Superficie exterior del tanque, Cubierta del colector. y están presentadas por semanas.

- Temperatura del agua dentro del tanque:

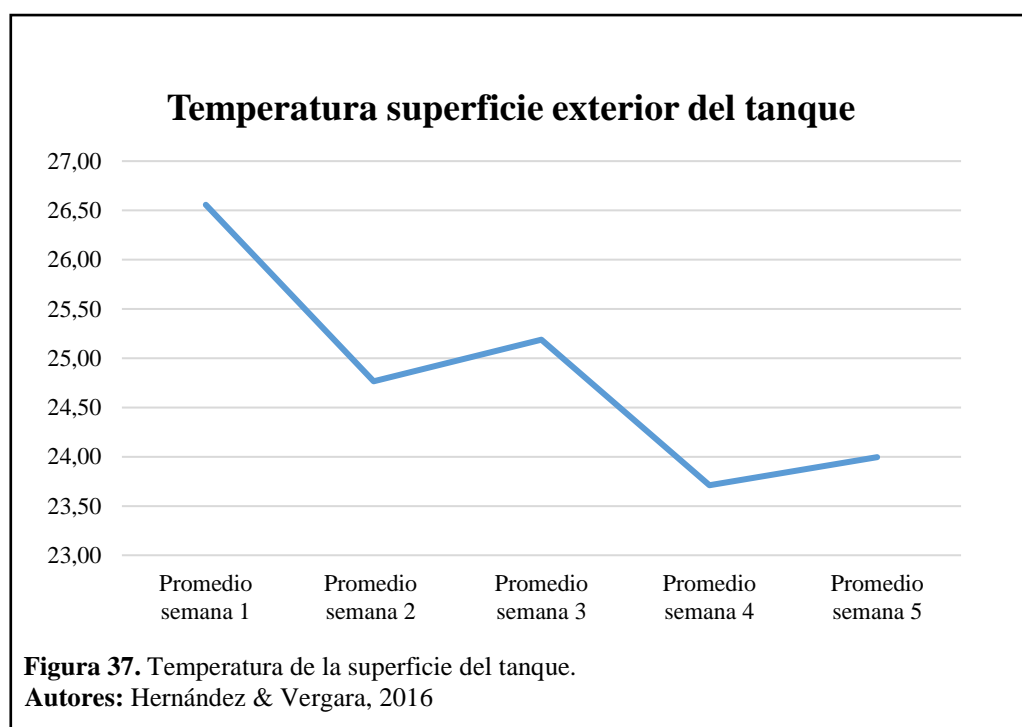
La figura 33 indica el comportamiento promedio de las temperaturas del agua dentro del tanque, durante el periodo de prueba, Presentando los valores más bajo en la mañana, manteniendo valores similares de temperatura siendo los más altos entre las 12 del mediodía y en la noche presentando valores promedio entre los mínimos y máximos.

La resistencia eléctrica se encendió por 5 ocasiones durante el mes, se activa cuando la temperatura del agua es menor a los 30 °C y llegando a una temperatura de 50°C se apaga el sistema auxiliar, además de eso el sistema controlara que en los últimos siete días la temperatura haya superado los 70°C con la finalidad de eliminar todas las bacterias que se encontraran en el tanque.



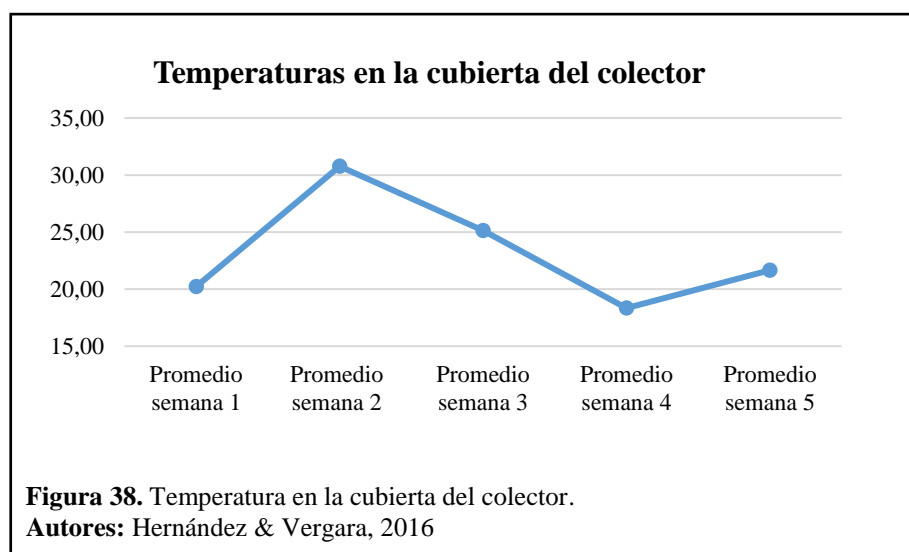
- Temperatura superficie exterior del tanque:

Como se parecía en los Anexo el comportamiento de las temperaturas durante el período de prueba del sistema, el promedio de las temperaturas semanales indica que en la parte superior del tanque se presentan los valores mayores ya que es el lugar que recibe la mayor parte de radiación entregada por el sol, las partes laterales izquierda y derecha manejan valores muy similares ya que el contacto con la radiación es igual en cada lado en el transcurso del día.



- **Temperatura cubierta del colector:**

Las temperaturas en la cubierta del colector van de forma ascendente, empezando en la parte inferior del colector y subiendo progresivamente, como se puede apreciar en los anexos, siendo la parte superior la que contenga los valores más altos de temperatura y a la vez estando más cerca del tanque de almacenamiento colabora para que la temperatura del agua sea mayor en este punto.



- **Rendimiento del Equipo:**

La tabla 15. Representa los rendimientos evaluados a largo del periodo de prueba del sistema, tiempo en el cual se obtuvieron valores que permiten poder llegar a obtener estos resultados, se puede notar que, al variar el ángulo del colector de 18° a 45° la diferencia en el rendimiento no es significativa y se determina que el ángulo de inclinación se lo puede únicamente seleccionar de acuerdo a la ubicación geográfica del panel y aun así no afectaría en su rendimiento final.

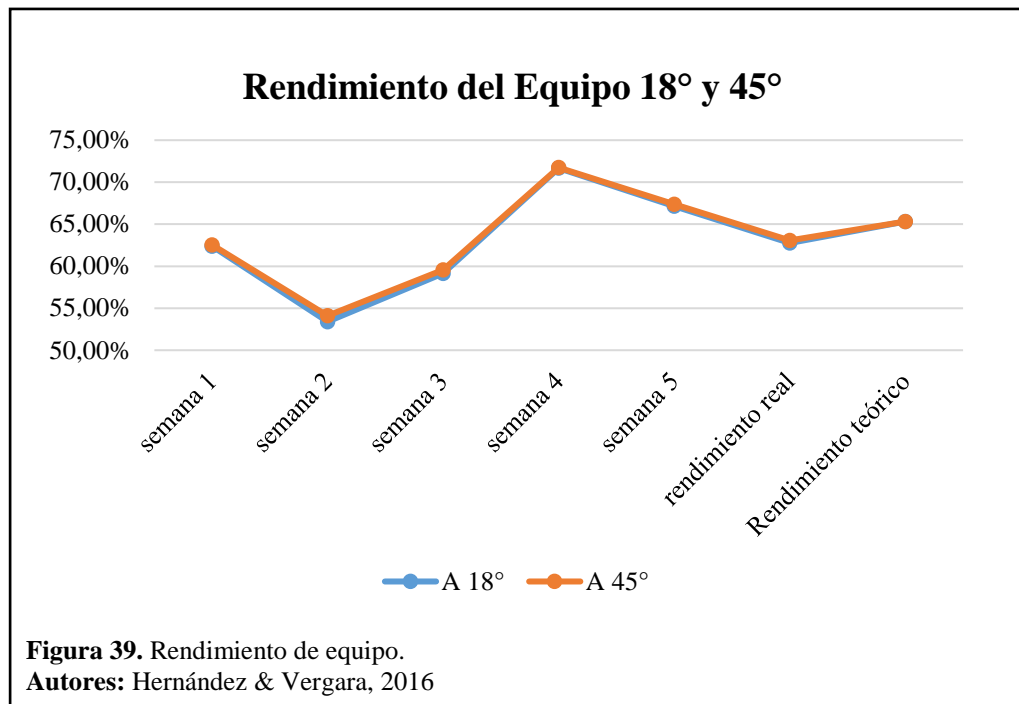
Tabla 15. Evaluación del rendimiento del equipo a 18° y 45°

Período	A 18°	A 45°
Semana 1	62,39%	62,55%
Semana 2	53,40%	54,10%
Semana 3	59,15%	59,56%
Semana 4	71,67%	71,74%
Semana 5	67,15%	67,39%
Rendimiento real	62,75%	63,07%
Rendimiento teórico	65,33%	

Nota. Valores obtenidos de forma experimental.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

Los valores seleccionados anteriormente para el cálculo preliminar del sistema no fueron tan alejados ya que la diferencia entre valores reales y teóricos no es mayormente significativa, por lo tanto, como se ilustra en la figura 36, se compara el rendimiento del sistema a un ángulo de 18° y 45°, teniendo ambas opciones valor muy similares.



- **Semana 1 (del 27 de noviembre al 3 de diciembre, 2016):**

Tabla 16. Temperaturas del agua dentro del tanque

Hora de toma de datos	Domingo 27	Lunes 28	Martes 29	Miércoles 30	Jueves 1	Viernes 2	Sábado 3
8AM	43°	45°	48°	58°	62°	55°	36°
12PM	46°	51°	53°	64°	55°	40°	48°
6PM	50°	50°	60°	68°	59°	46°	54°
10PM	51°	49°	59°	63°	57°	45°	50°
Promedio	47,5°	48,75°	55°	63,25°	58,25°	46,5°	47°

Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

En la semana número uno los valore obtenidos están en la tabla 15 siendo el día miércoles el que se llegó a obtener los valores más altos de temperatura del agua dentro del tanque.

Figura 40. representa algunas curvas con el comportamiento de las temperaturas por día.

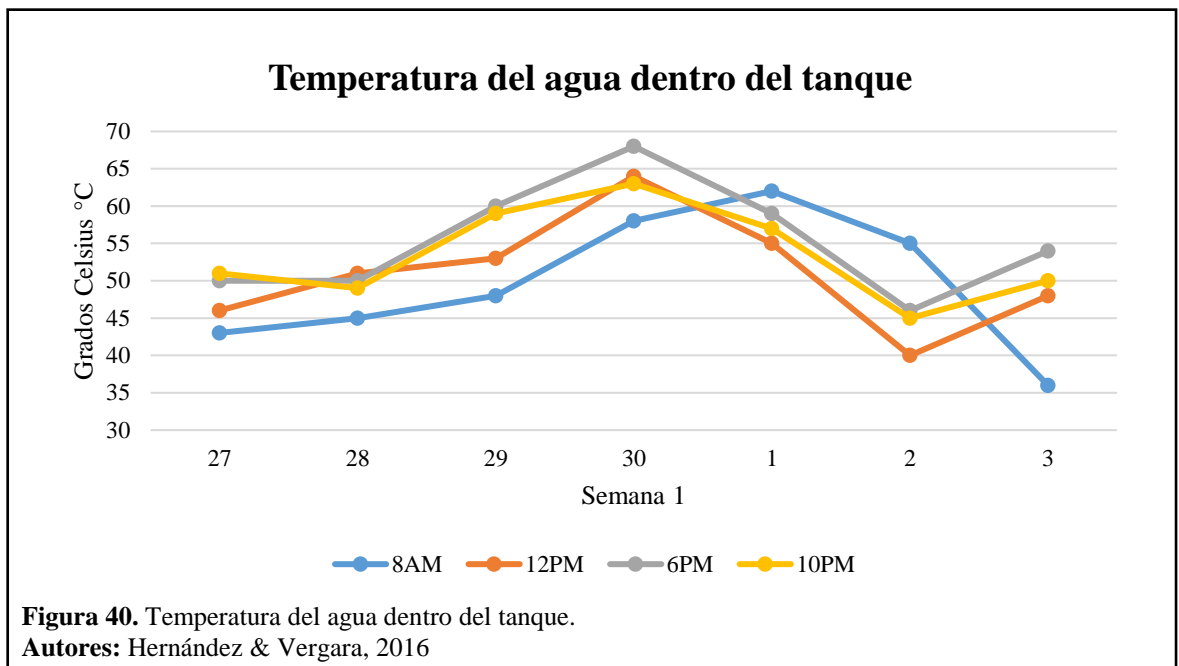


Tabla 17. Temperaturas exteriores del tanque

Lados del tanque	Domingo 27	Lunes 28	Martes 29	Miércoles 30	Jueves 1	Viernes 2	Sábado 3
Superior	36	28,2	48,6	17,5	40,8	49,2	12,2
Inferior	22	20,3	25,6	15,9	25,1	24	14,4
Lateral izquierdo	23,5	22,4	27,9	14,7	42,6	27,7	21,9
Lateral derecho	22,1	21,7	36,5	18,2	26,4	35,4	22,8
Promedio	25,9	23,15	34,65	16,575	33,725	34,075	17,825

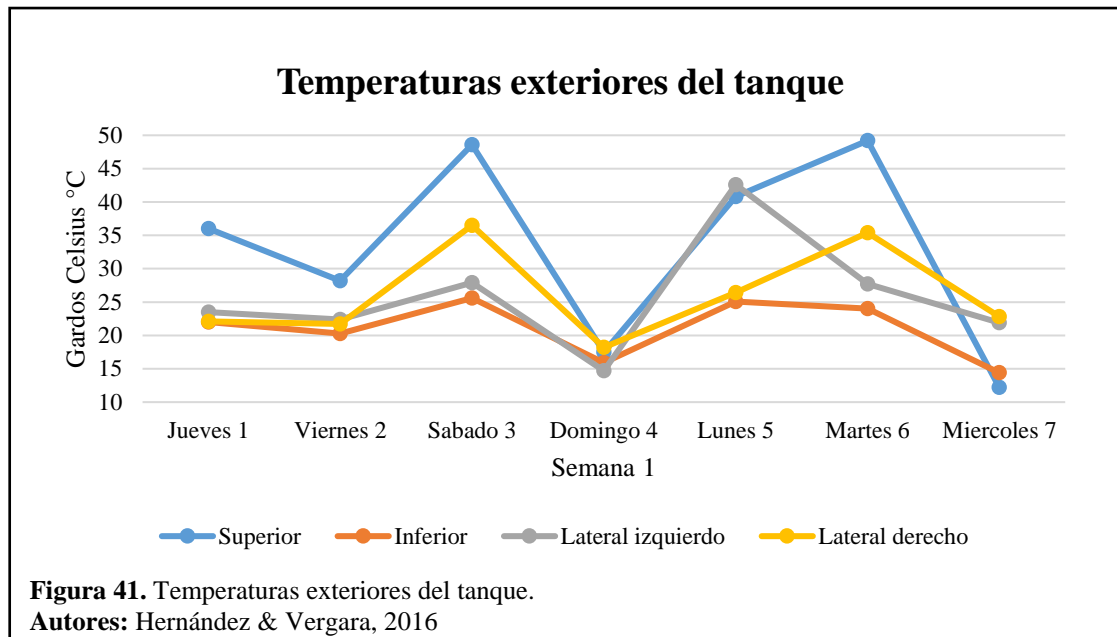
Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

Las temperaturas exteriores del tanque su mayor promedio llegó a ser el de 34,65 °C y como valor mínimo se presentó 16,57°C presentados el martes y miércoles respectivamente.

Cada dato obtenido fue tomado de las partes superior, inferior, lateral izquierdo, lateral derecho, del tanque de almacenamiento del agua.

Figura 41 representa el máximo valor de temperatura se obtienen en la parte superior del tanque.



Se representan en la tabla 17 las temperaturas en el colector las cuales fueron tomadas al mediodía de la semana evaluada.

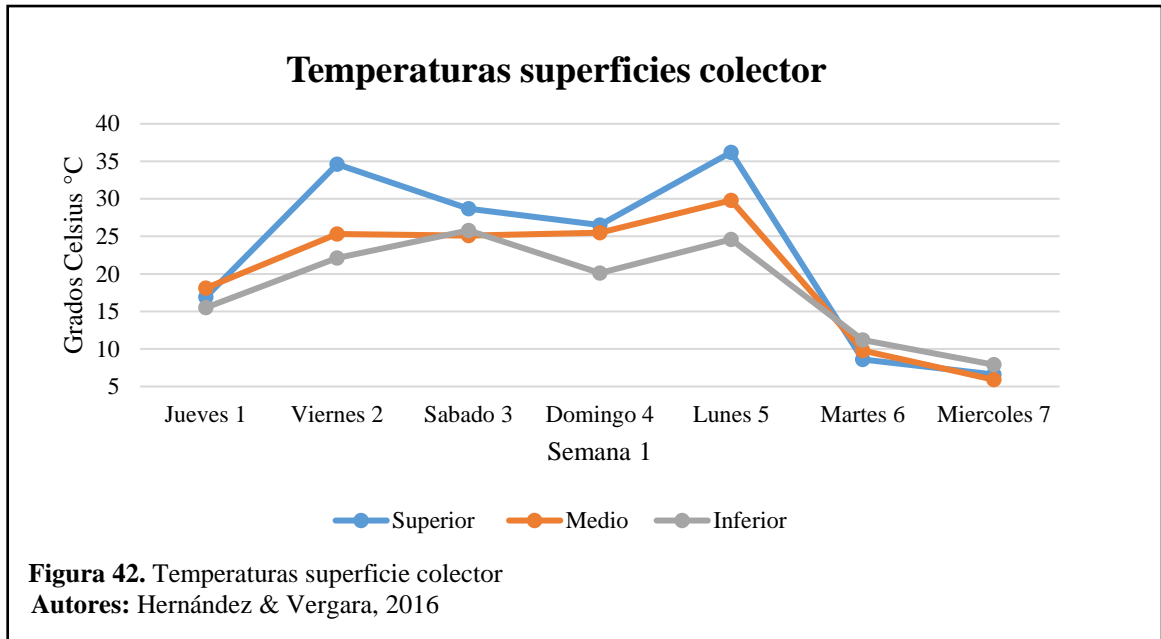
Tabla 18. Temperaturas superficies colector

Superficie colector	Domingo 27	Lunes 28	Martes 29	Miércoles 30	Jueves 1	Viernes 2	Sábado 3
Superior	16,9	34,6	28,7	26,5	36,2	8,6	6,6
Medio	18,1	25,3	25,1	25,5	29,8	9,8	5,9
Inferior	15,5	22,1	25,8	20,1	24,6	11,2	7,9
Promedio	16,83	27,33	26,53	24,03	30,20	9,87	6,80

Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

La temperatura en la parte superior del colector siempre ha sido la máxima.



- **Semana 2 (del 4 al 10 diciembre, 2016):**

Tabla 19. Temperaturas del agua dentro del tanque

Hora de toma de datos	Domingo 4	Lunes 5	Martes 6	Miércoles 7	Jueves 8	Viernes 9	Sábado 10
8AM	51	54	54	60	45	42	49
12PM	60	62	58	68	57	50	57
6PM	58	66	57	67	55	54	55
10PM	53	66	57	66	47	53	50
Promedio	55,5	62	56,5	65,25	51	49,75	52,75

Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

En la semana dos el día martes la parte superior del tanque llego a una temperatura de 56 °C.

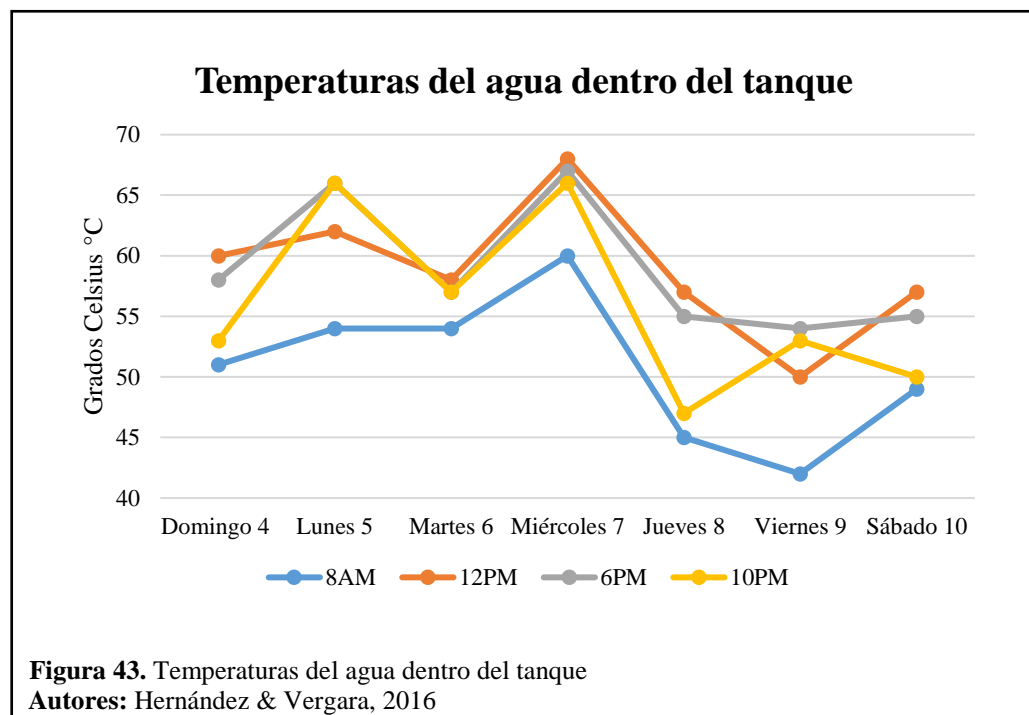


Tabla 20. Temperaturas exteriores del tanque

Lados del tanque	Domingo 4	Lunes 5	Martes 6	Miércoles 7	Jueves 8	Viernes 9	Sábado 10
Superior	11,6	37,2	54,2	28	33,8	38,2	12,1
Inferior	12,3	25,6	23	22,3	26,4	25,3	12,9
Lateral izquierdo	11,5	36,1	28,3	27,5	32,5	33,1	11,5
Lateral derecho	12,1	26,8	27,6	21,8	25,9	23,6	12,2
Promedio	11,875	31,425	33,275	24,9	29,65	30,05	12,175

Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

Las temperaturas obtenidas en la parte media e inferior del tanque son de valores casi similares, pero en la parte media hay días que se obtiene temperaturas mayores que en la parte inferior.

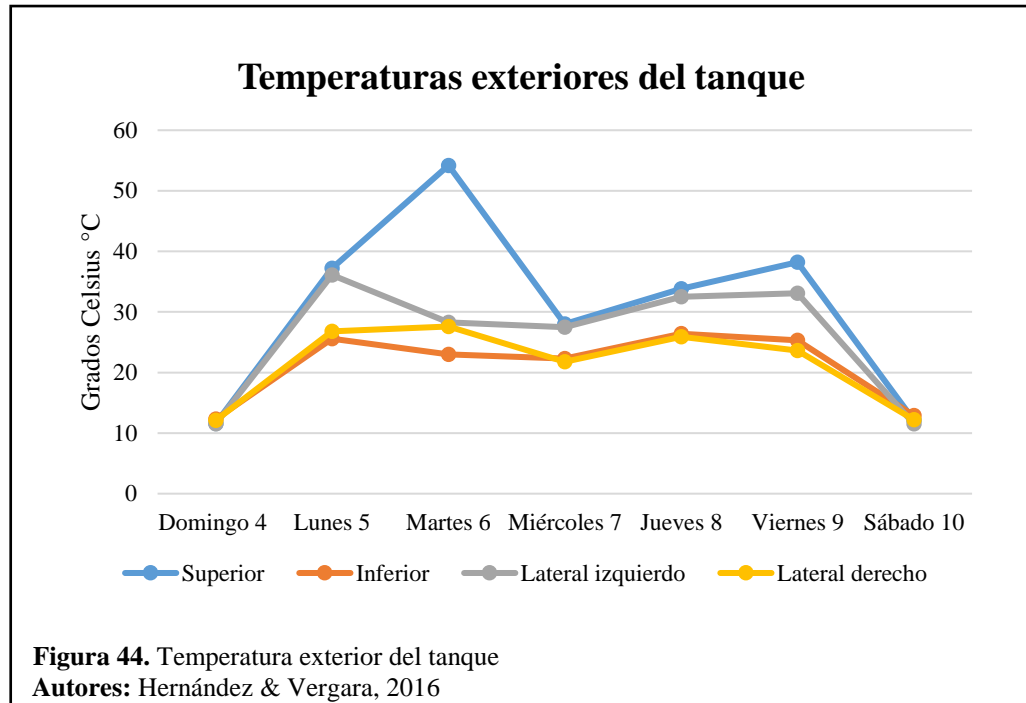


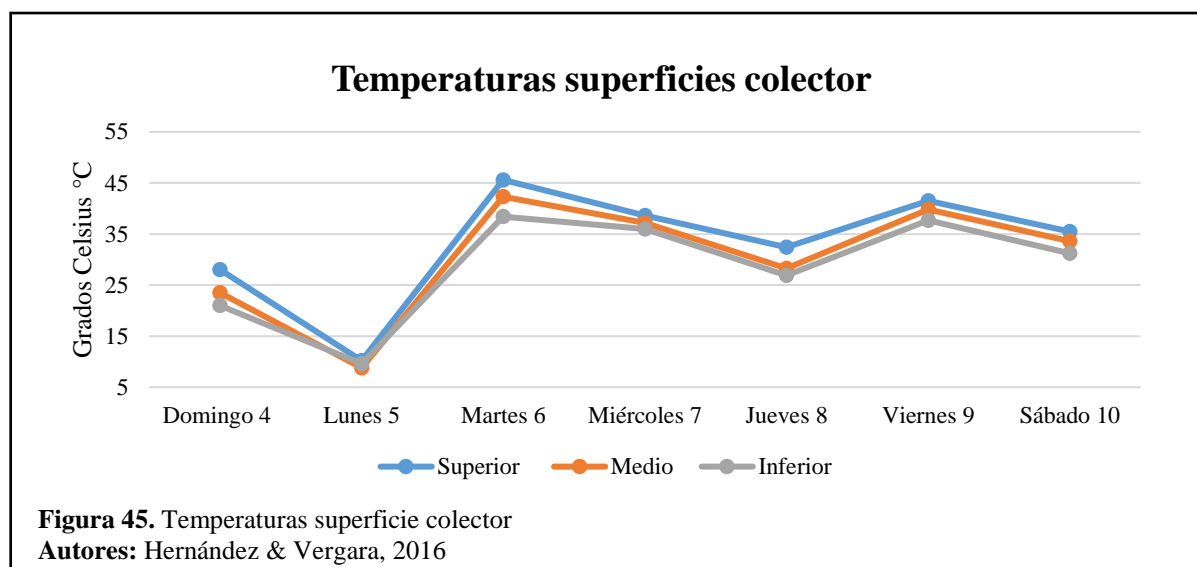
Tabla 21. Temperaturas superficies colector

Superficie colector	Domingo 4	Lunes 5	Martes 6	Miércoles 7	Jueves 8	Viernes 9	Sábado 10
Superior	28	10,2	45,6	38,6	32,4	41,5	35,5
Medio	23,5	8,8	42,3	37,2	28,3	39,8	33,6
Inferior	21	9,6	38,4	36	26,9	37,7	31,2
Promedio	24,17	9,53	42,10	37,27	29,20	39,67	33,43

Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

A las 6 PM es la hora que la temperatura dentro del tanque llega a su mayor valor.



- **Semana 3 (del 11 al 17 diciembre, 2016):**

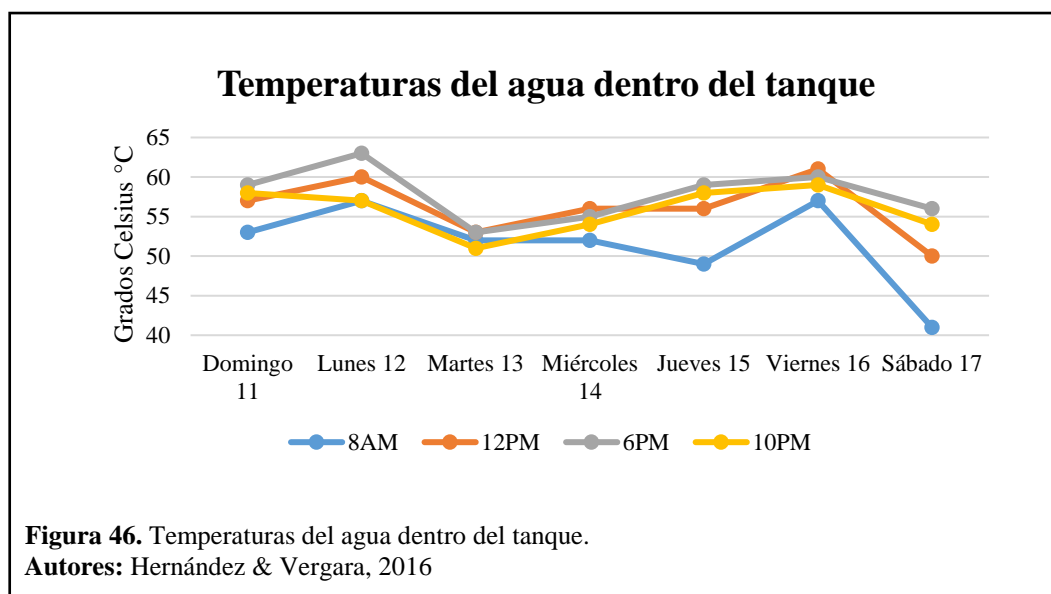
Tabla 22. Temperaturas del agua dentro del tanque

Hora de toma de datos		Lunes 12	Martes 13	Miércoles 14	Jueves 15	Viernes 16	Sábado 17
8AM	53	57	52	52	49	57	41
12PM	57	60	53	56	56	61	50
6PM	59	63	53	55	59	60	56
10PM	58	57	51	54	58	59	54
Promedio	56,75	59,25	52,25	54,25	55,5	59,25	50,25

Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

A las 8 AM Es la hora donde la temperatura llega a valores más bajos a lo largo del día.



Día viernes de la tercera semana registra valores promedio de 35,67°C de temperatura a lo largo de la superficie del panel.

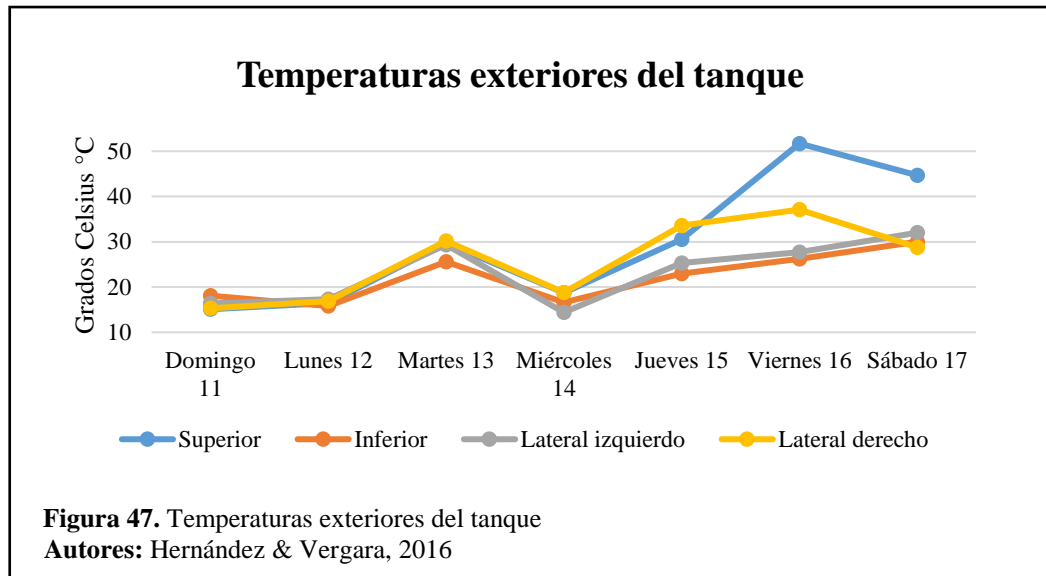
Tabla 23. Temperaturas exteriores del tanque

Lados del tanque	Domingo 11	Lunes 12	Martes 13	Miércoles 14	Jueves 15	Viernes 16	Sábado 17
Superior	15,1	16,5	29,7	18,7	30,5	51,7	44,7
Inferior	18,1	15,8	25,6	16,6	23	26,2	30
Lateral izquierdo	16,4	17,3	29,3	14,4	25,3	27,7	32
Lateral derecho	15,3	16,9	30,2	18,8	33,6	37,1	28,8
Promedio	16,225	16,625	28,7	17,125	28,1	35,675	33,875

Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

Día viernes y sábado la temperatura en la parte superior del panel llega a ser la mayor.



El día miércoles se obtuvieron los valores más bajos en promedio de las superficies del colector del sistema.

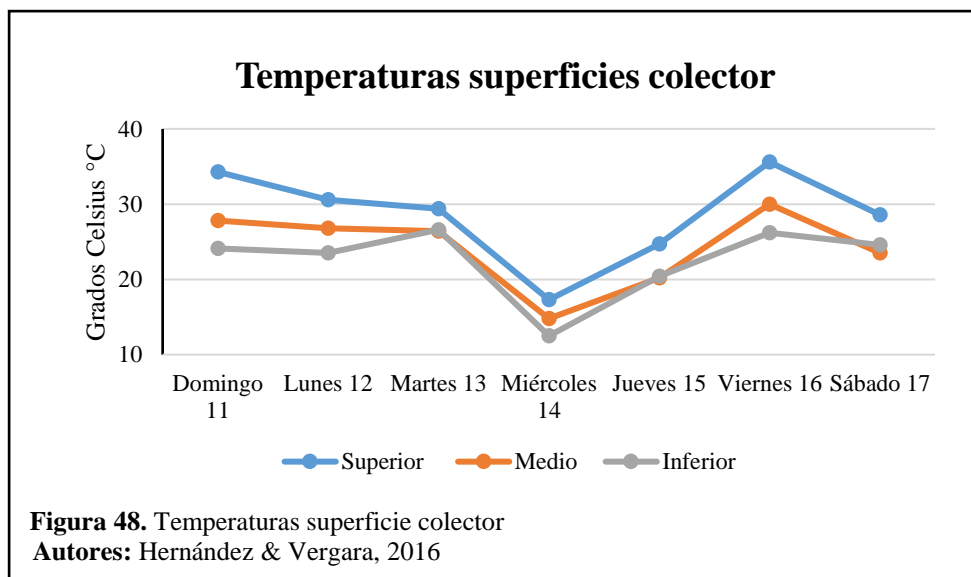
Tabla 24. Temperaturas superficies colector

Superficie colector	Domingo 11	Lunes 12	Martes 13	Miércoles 14	Jueves 15	Viernes 16	Sábado 17
Superior	34,3	30,6	29,4	17,3	24,7	35,6	28,6
Medio	27,8	26,8	26,4	14,8	20,2	30	23,5
Inferior	24,1	23,5	26,6	12,5	20,4	26,2	24,6
Promedio	28,73	26,97	27,47	14,87	21,77	30,60	25,57

Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

La parte superior del colector registrar temperaturas más altas que en las otras partes del mismo.



- **Semana 4 (del 18 al 24 diciembre, 2016):**

Esta semana se sacó datos de la temperatura del agua a la salida del sistema, como se aprecia en la tabla 24, los valores son casi parecidos a los valores de la temperatura del agua dentro del tanque siendo que las pérdidas de calor en las tuberías no son tan altas.

Tabla 25. Temperaturas del agua a la salida

Hora de toma de datos	Domingo 18	Lunes 19	Martes 20	Miércoles 21	Jueves 22	Viernes 23	Sábado 24
8AM	55	50	46	52	53	50	62
12PM	59	38	53	50	59	57	70
6PM	64	54	57	51	63	59	70
10PM	61	47	55	50	61	58	68
Promedio	59,75	47,25	52,75	50,75	59	56	67,5

Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

A las 6 PM es la hora donde el colector ha almacenado la mayor parte de calor del día.

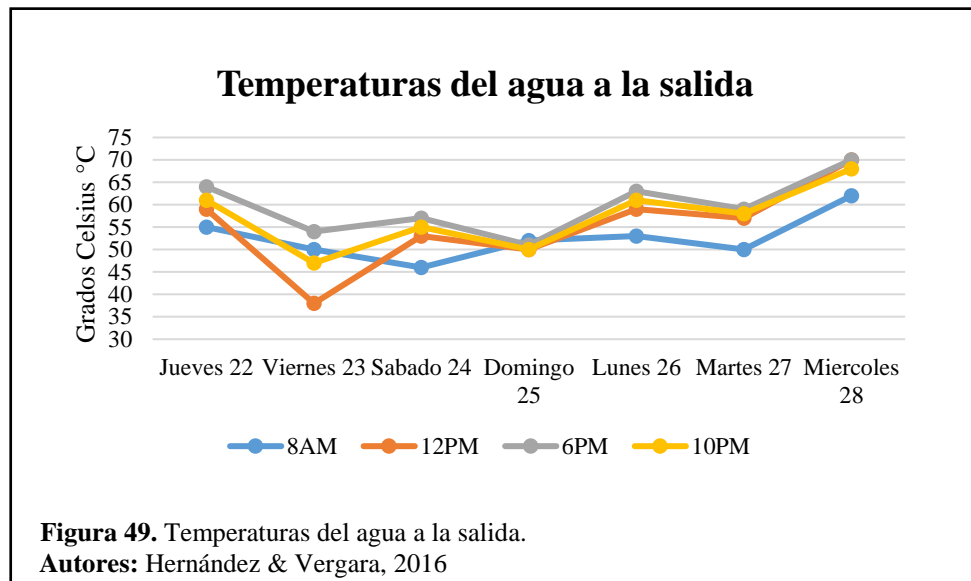


Tabla 26. Temperaturas exteriores del tanque

Lados del tanque	Domingo 18	Lunes 19	Martes 20	Miércoles 21	Jueves 22	Viernes 23	Sábado 24
Superior	26	23,9	11,5	10,2	38,2	36,7	36,4
Inferior	22,6	21,5	16,3	13,7	26,2	24,8	26,6
Lateral izquierdo	26,1	21,4	15	12,7	40	39,8	29,3
Lateral derecho	22,7	23	14,7	11,9	25,8	24,8	22,1
Promedio	24,35	22,45	14,375	12,125	32,55	31,525	28,6

Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

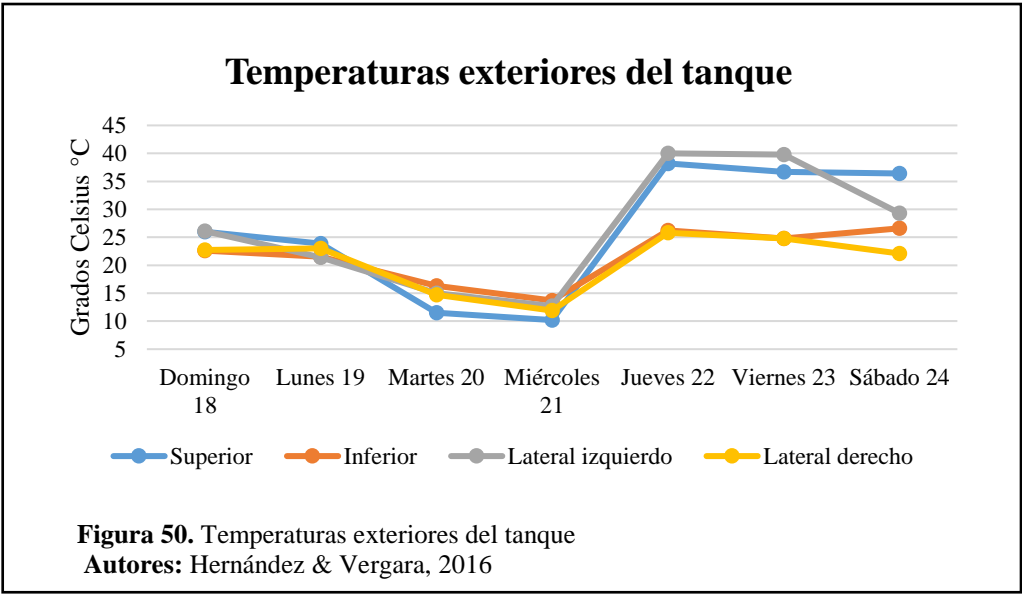
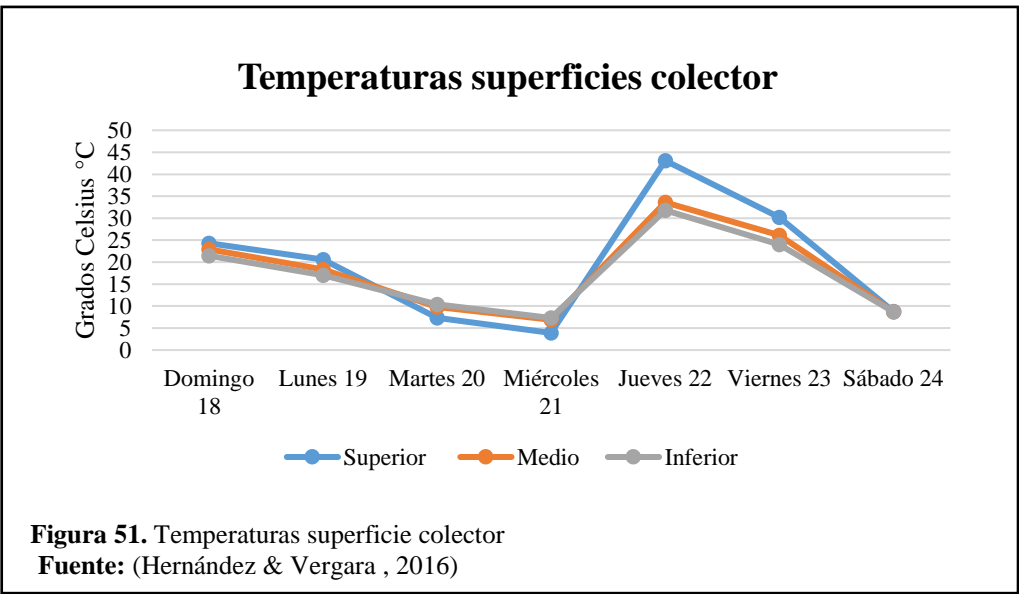


Tabla 27. Temperaturas superficies colector

Superficie colector	Domingo 18	Lunes 19	Martes 20	Miércoles 21	Jueves 22	Viernes 23	Sábado 24
Superior	24,3	20,6	7,3	3,9	43,1	30,2	8,8
Medio	22,9	18,3	9,8	6,9	33,6	26,1	8,7
Inferior	21,5	17	10,4	7,3	31,8	24	8,7
Promedio	22,90	18,63	9,17	6,03	36,17	26,77	8,73

Nota. Datos en Grados Celsius.
Autores: Hernández & Vergara, 2016



- **Semana 5 (del 25 al 31 diciembre, 2016):**

Tabla 28. Temperaturas del agua a la salida

Hora de toma de datos	Domingo 25	Lunes 26	Martes 27	Miércoles 28	Jueves 29	Viernes 30	Sábado 31
8AM	61	45	54	48	52	45	49
12PM	55	48	56	57	50	51	57
6PM	53	56	50	62	51	50	55
10PM	52	55	51	61	50	49	50
Promedio	55,25	51	52,75	57	50,75	48,75	52,75

Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

A las 10PM la temperatura no es tan diferente que a las 12 PM demostrando que le sistema en perdida de calor no es muy significativa.

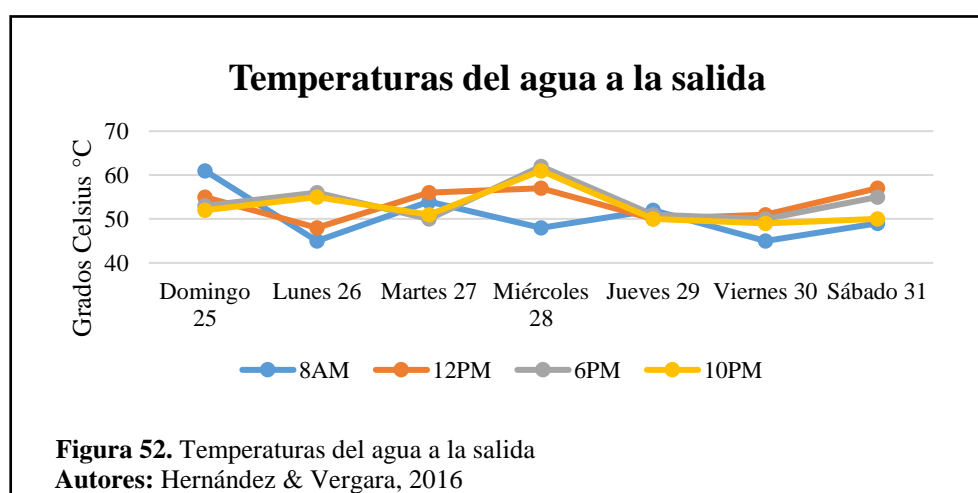


Tabla 29. Temperaturas exteriores del tanque

Lados del tanque	Domingo 25	Lunes 26	Martes 27	Miércoles 28	Jueves 29	Viernes 30	Sábado 31
Superior	11,6	14,7	64,9	37,2	11,3	19,5	54,9
Inferior	13,7	17	27	24,5	13,9	20,3	29,8
Lateral izquierdo	12,7	17,4	27,4	22,9	13,9	20,5	33
Lateral derecho	12,5	15,3	31,6	22,2	13,1	20,2	48,9
Promedio	12,625	16,1	37,725	26,7	13,05	20,125	41,65

Nota. Datos en Grados Celsius.

Autores: Hernández & Vergara, 2016

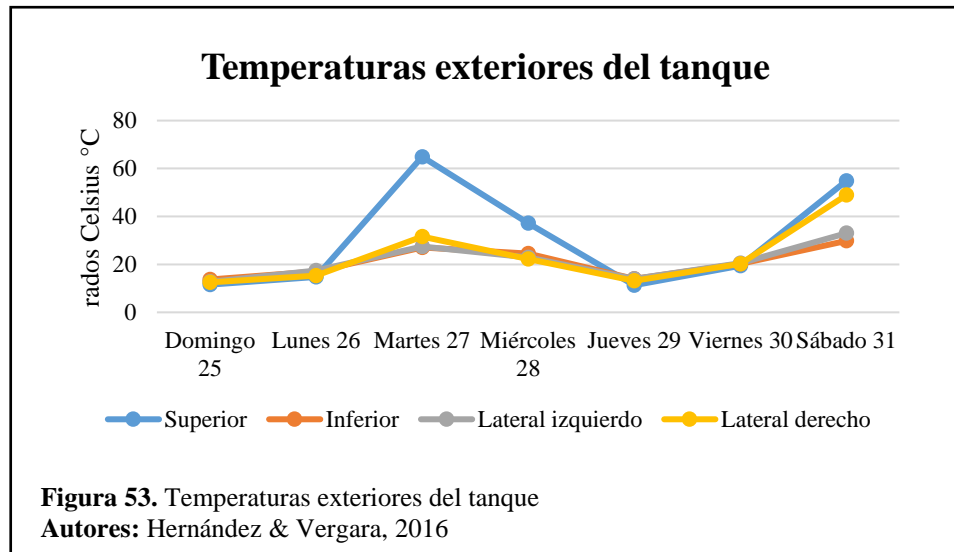
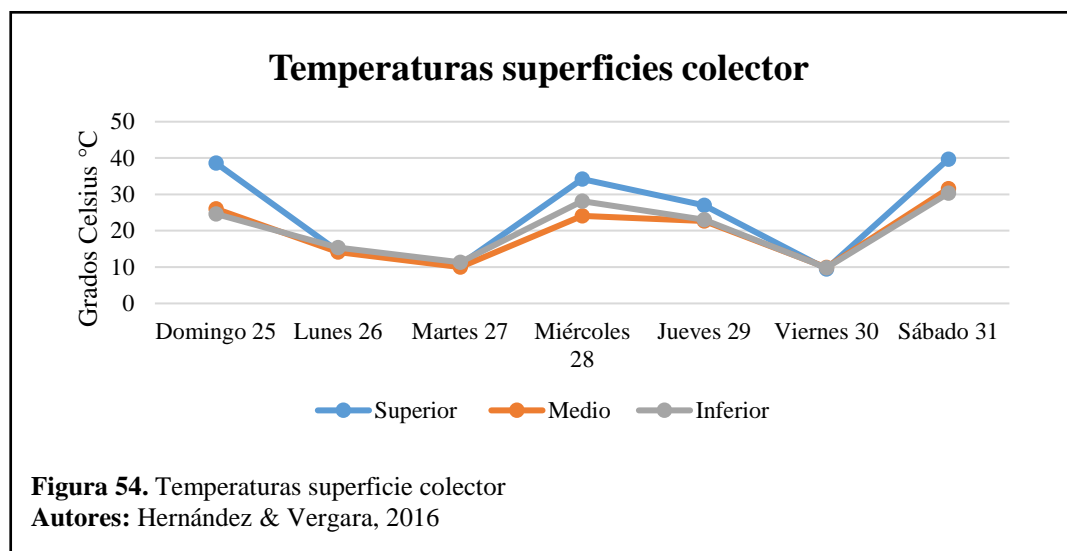


Tabla 30. Temperaturas superficies colector

Superficie colector	Domingo 25	Lunes 26	Martes 27	Miércoles 28	Jueves 29	Viernes 30	Sábado 31
Superior	38,6	14,4	10,7	34,2	27	9,5	39,7
Medio	26	14,1	10	24,1	22,7	9,9	31,6
Inferior	24,6	15,4	11,3	28,1	23	9,8	30,3
Promedio	29,73	14,63	10,67	28,80	24,23	9,73	33,87

Nota. Datos en Grados Celsius.

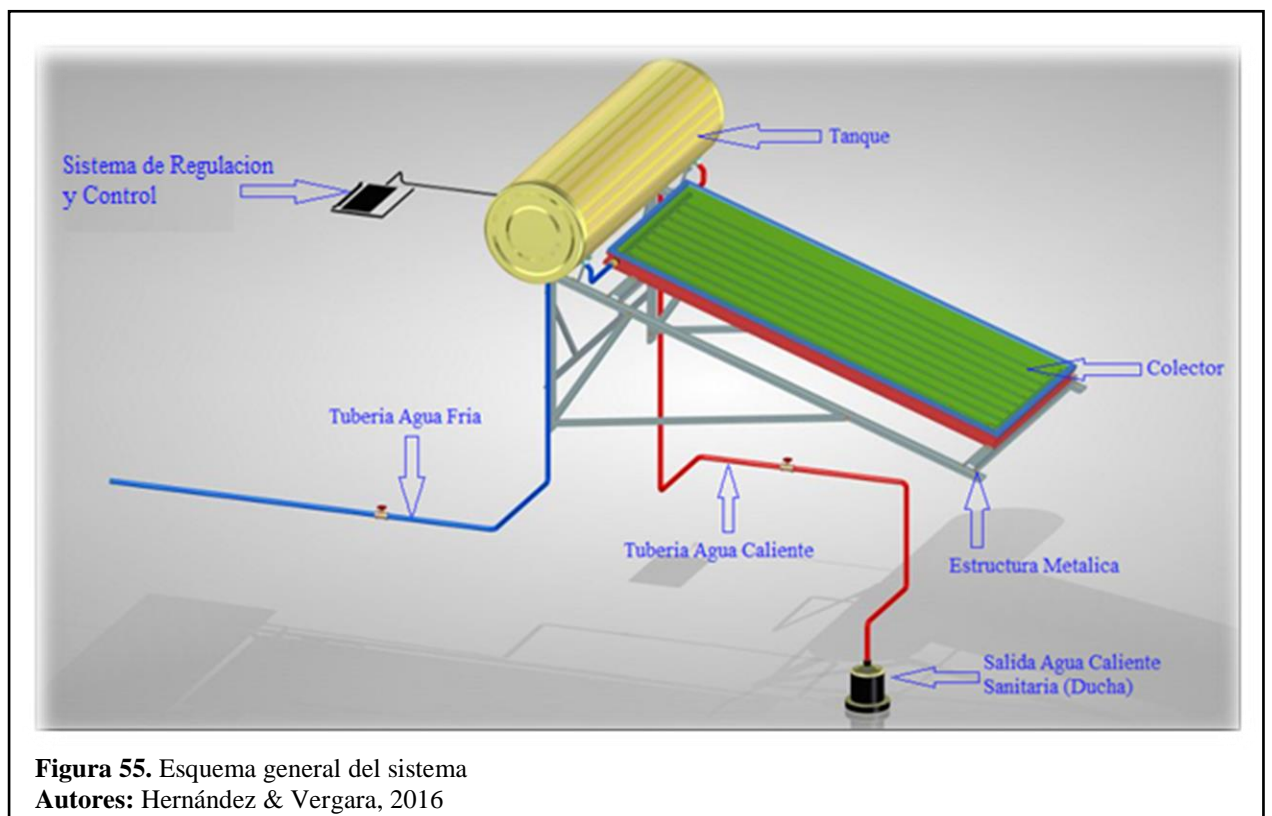
Autores: Hernández & Vergara, 2016



3.2 Esquema general del sistema

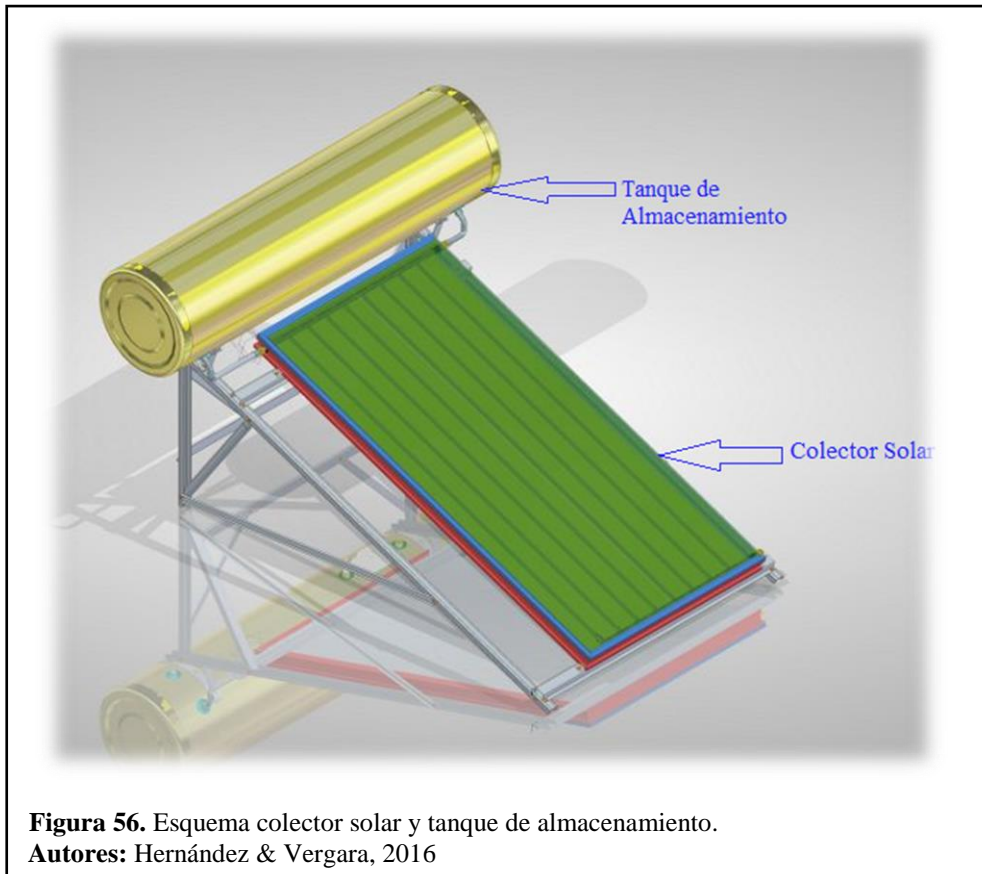
La figura 55 representa el esquema del sistema con sus respectivos elementos principales, los cuales son:

- Colector solar
- Tanque de almacenamiento
- Estructura metálica
- Sistema de regulación control
- Tubería de agua caliente
- Tubería de agua fría
- Salida de agua (Ducha)



3.3 Colector solar y Tanque de almacenamiento

En la figura 56 se encuentra representado el colector solar y el tanque de almacenamiento.



- Colector Solar:

Ficha técnica anexo 1.

Área de 1,81 m²

Ángulo de inclinación de 18°

Material de la cubierta: vidrio templado con bajo carbón, espesor de 3,2 mm.

Material de aislamiento: lana de vidrio de 30mm.

Material de la carcasa: aleación de aluminio.

Tubería de cobre de 10 mm de diámetro.

Tratamiento de superficie recubrimiento azul.

- **Tanque de almacenamiento:**

Capacidad de 200 litros

Diámetro tanque interno 480 mm.

Diámetro tanque externo 570 mm

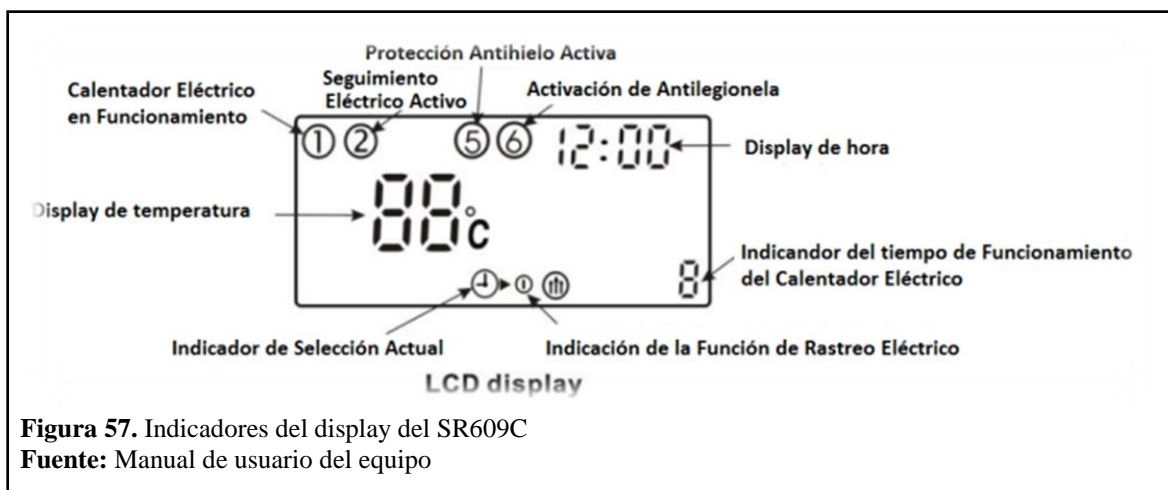
Material de aislamiento espuma de poliuretano de 45 mm de espesor.

3.4 Sistema de regulación y control

Este sistema contará con un controlador solar SR609C para sistemas presurizados como se observa en la figura 55. Este sistema de control asegura el correcto funcionamiento de las instalaciones, así también permite el monitoreo de la temperatura del agua en el tanque.

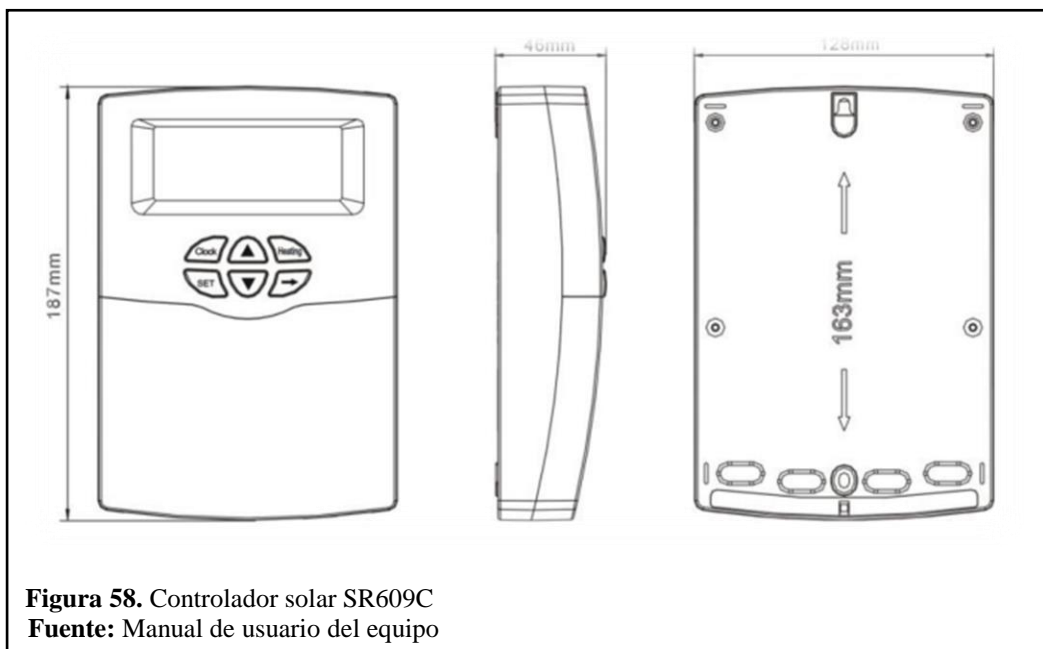
- **Controlador solar SR609C:**

En la figura 55. Se puede observar los diferentes parámetros que podemos ver en el sistema de control.



Además, el sistema de control asegurará que:

- El agua no alcance temperaturas que excedan a las máximas soportadas por los materiales, en nuestro caso 80°C.
- La temperatura del fluido de trabajo no baje de una temperatura que en nuestro caso será programada en 30°C.
- Función protectora contra heladas del colector.
- Función antilegionela, esta permite eliminar las bacterias que se encuentran en el tanque acumulador de agua.
- Indicador de hora en la pantalla.
- Activación opcional del calentamiento de agua en 3 secciones de tiempo.



Datos técnicos del SR609C

Fuente de alimentación: 200-240V / AC 50 / 60Hz.

Consumo de energía: < 3W

Precisión de la medición de la temperatura: $\pm 2^{\circ}\text{C}$

Rango de medición de la temperatura en el tanque: 0-100°C

Señal de entrada: Sensor de temperatura del tanque

Señal de salida: H1 para el calentador eléctrico

Temperatura ambiente: -10°C – 50°C

- **Sensor de temperatura:**

Para la medición de temperatura se utilizará el sensor que viene con el controlador que en nuestro caso es el NTC10K, B=3950 que nos ayudará a tomar los datos para la evaluación del sistema solar, los datos técnicos del sensor de temperatura son:

- Rango de medición: -20 a 105°C
- Largo del cable: 20 metros
- Tamaño de la sonda: 5 x 50mm
- Salida: 2 hilos
- Tipo de sensor: NTC 10k \pm 1% 3950
- Constante B: 3380K \pm 1%
- Constante de disipación típica: $5 \frac{m \times W}{^{\circ}C}$
- Aislación de sonda: > 100 MOhm
- Peak de voltaje soportado: AC 1800V 1mA 2 segundos
- Resistencia Mecánica: 9,8N por 1 minuto sin deformación.



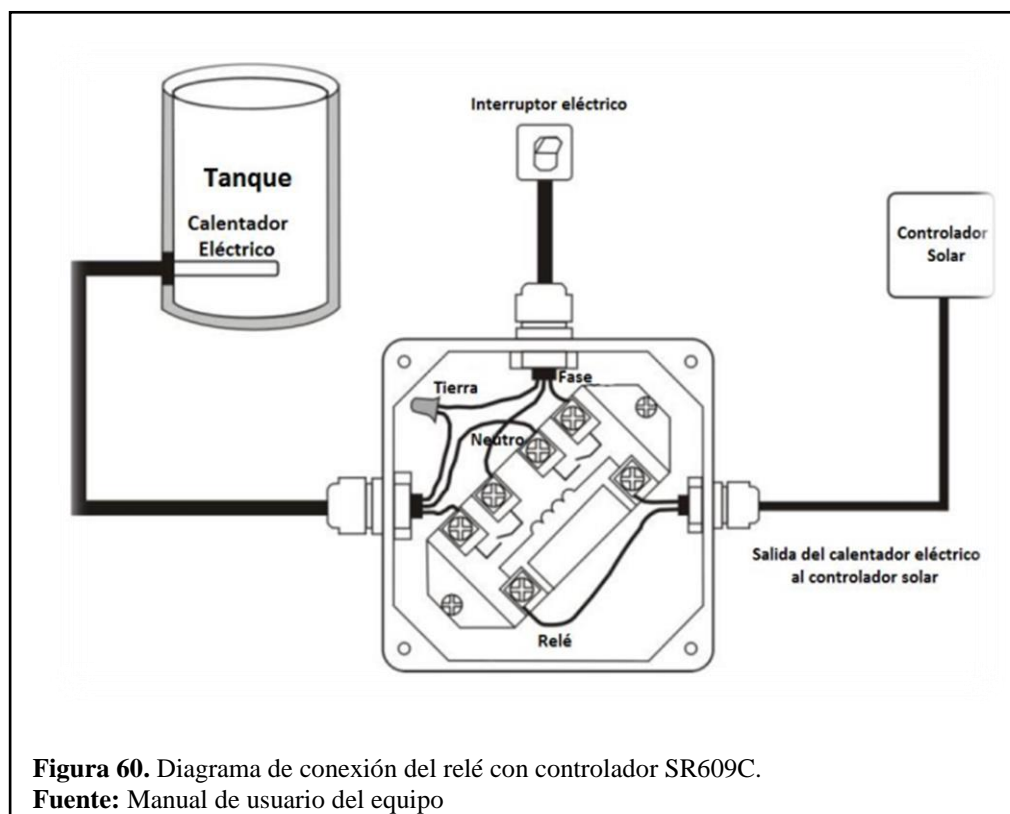
- **Relé de control del sistema solar:**

Se utilizará un relé para sistemas solares el SR802, este dispositivo nos permitirá controlar el funcionamiento de la resistencia eléctrica actuando como un interruptor, permitiendo así un control absoluto y programable de la resistencia eléctrica que se instalará en el sistema.

Los datos técnicos de SR802 son:

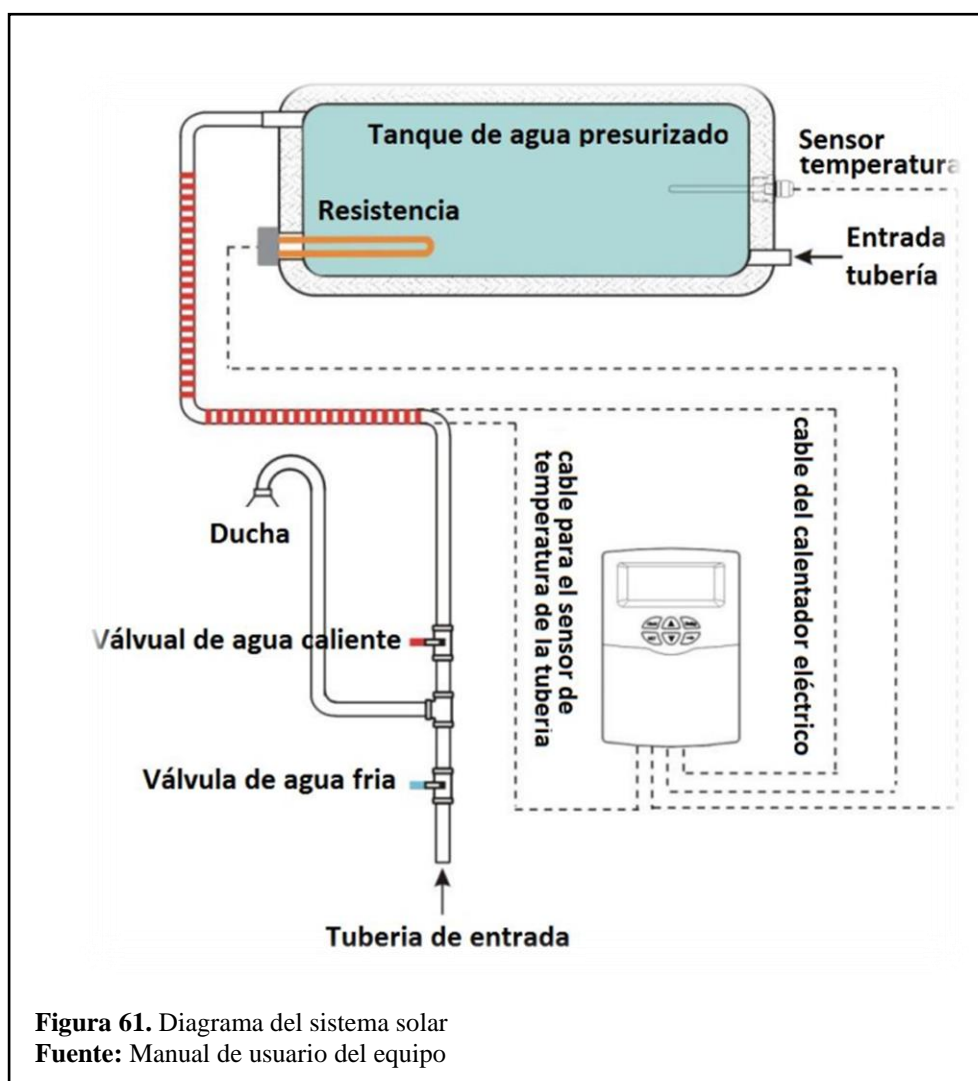
- Dimensiones: 100mm x 100mm x 65mm
- Energía requerida: 180-264 V / AC50 / 60Hz.
- Potencia adecuada máxima: < 4000W
- Temperatura ambiente disponible: -10 a 50°C
- Grado de prueba de agua: IP43

Para la conexión se eléctrica se tomará como referencia el esquema de la figura 58. Donde se puede observar que el relé estará alimentado con una toma 220V, luego de éste parte al controlador solar para alimentar al mismo y por ultimo alimentará a la resistencia eléctrica que se encuentra en el tanque.



- **Diagrama del sistema de instalación:**

En el siguiente diagrama se puede observar la conexión del tanque con el controlador solar, así como el esquema de las tuberías que se utilizan para el funcionamiento del mismo, cómo se observa en la figura el controlador está conectado al sensor de temperatura, del controlador al relé y este a la resistencia.



3.5 Tiempo de duración del agua caliente en el tanque

Para determinar que el sistema abastece la demanda de agua caliente para 4 personas, se realizará los cálculos en la página web crazycalculations.com, en la cual tenemos que introducir parámetros obtenidos previamente en el desarrollo de este proyecto, los cuales se detallan a continuación:

Caudal máximo de agua caliente: $9,6 \frac{l}{\min}$

Caudal máximo de agua fría: $9,6 \frac{l}{\min}$

Capacidad de tanque de almacenamiento: 200 litros

Temperatura de agua caliente en el tanque de almacenamiento: 60°C

Temperatura de agua fría en la red: 15°C

Tiempo en la ducha: 5 minutos

Las temperaturas se han tomado en base a datos reales tomados del monitoreo del sistema del mes de diciembre.

El caudal de agua caliente: litros por minuto

Un caudal de agua aceptable es de 5 o 6 litros de agua por minuto. 8 litros por segundo, sería una ducha de alta presión muy fuerte y una pérdida de agua.

El caudal de agua frío: litros por minuto

Siempre pongo grifos mezcladores termostáticos en mi casa porque no hay nada peor que sufrir quemaduras.

Tamaño del tanque de agua: litros

El tamaño más común para un termo de agua caliente para uso doméstico es de 75 litros.

Temperatura del agua caliente: Centígrados

La mayoría de los tanques de agua caliente tienen un mínimo de 65°C que es lo suficiente caliente como para matar a la bacteria Legionella, que puede causar neumonía y no lo suficientemente caliente como para causar quemaduras.

Temperatura del agua fría: Centígrados

La temperatura del agua en la red puede variar de verano a invierno y desde distintos lugares. 11°C es el promedio, pero es una buena idea tomar la temperatura de su agua de la red con un termómetro para obtener resultados correctos.

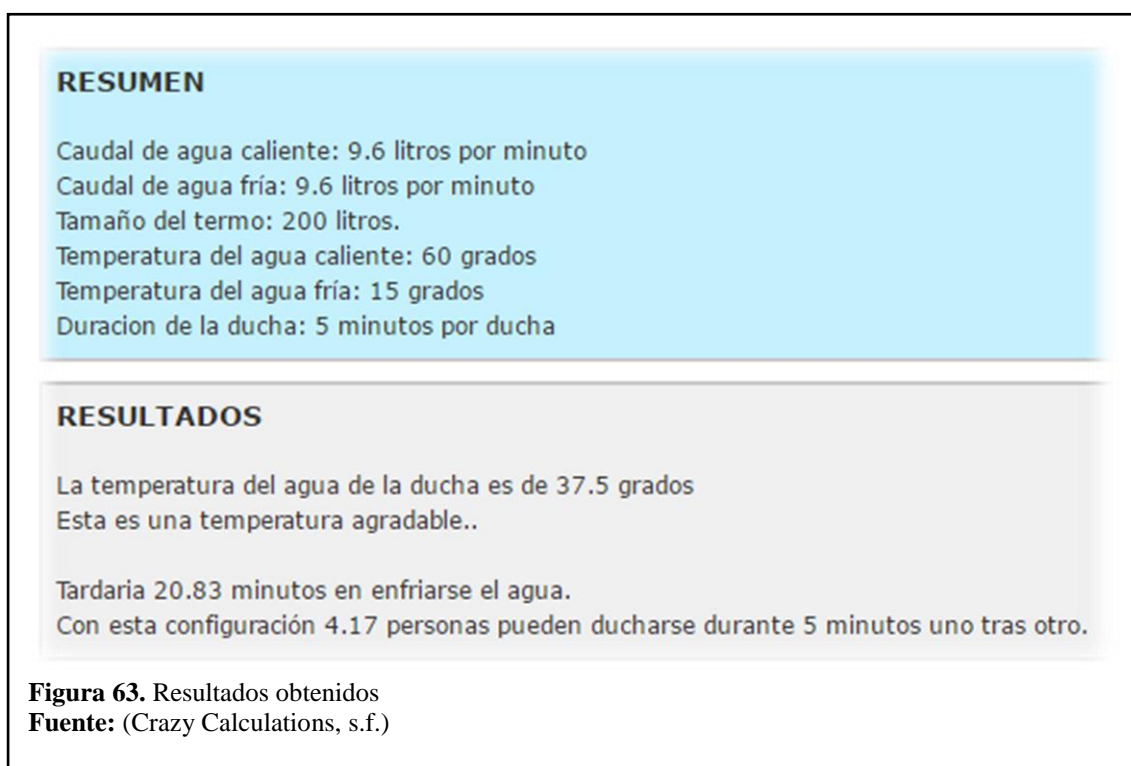
Duración de la ducha: minutos

Para la mayoría de las personas de 5 minutos es tiempo suficiente para lavar el cabello y el cuerpo.

Figura 62. Cálculo de duración de agua caliente en la ducha
Fuente: (Crazy Calculations, s.f.)

Como se puede observar en la figura 61. Los resultados muestran que con los datos anteriormente dados nos dan como resultado que a una temperatura de salida en la ducha combinando agua fría y el agua caliente del tanque da 38°C, que es una temperatura agradable.

Además, que con esta configuración se podrán ducharse 4,17 personas durante 5 minutos uno tras otro y el tanque tardaría en enfriarse 20,83 minutos, el resumen se puede ver en la siguiente figura:



Mediante la página web se concluye que este sistema es apto para una familia de 4 personas, dado que aún con un uso continuo este sistema cumple el cometido de satisfacer las necesidades de una familia promedio de la ciudad de Quito.

La continuidad de agua caliente depende del tiempo que dura una persona en ducharse además, de la temperatura a la cual se encuentran el agua fría de red potable y la temperatura del agua en el tanque acumulador.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ECONÓMICO

4.1 Análisis Económico

Generalmente un proyecto de ingeniería surge debido a la aparición de un problema, por lo tanto, este intenta satisfacer esta necesidad. El proyecto planteado en este documento cumple aspectos fundamentales los cuales son:

- Ayuda a disminuir la emisión de gases de efecto invernadero, causados por el uso de combustibles fósiles.
- El sistema tiene una autosuficiencia energética, evitando consumir fuentes de energía tradicionales.
- Debido al uso y aprovechamiento de la energía del sol que llega gratuitamente a la ubicación del proyecto se obtiene un beneficio económico.

En el Ecuador el aspecto económico es de gran importancia, es el factor que determina la utilización de los diferentes sistemas de calentamiento de agua que se comercializan actualmente en el país.

En este capítulo se va a realizar un análisis económico para obtener resultados y verificar el tiempo amortización de gasto inicial que supone la instalación de estos sistemas de calentamiento de agua sanitaria, ya que el ahorro energético se pudo observar anteriormente.

A continuación, se detallarán los costos iniciales de los elementos y equipos necesarios para el funcionamiento del sistema.

Tabla 31. Costos de elementos que conforman del sistema solar

ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR			
Descripción	Cant.	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Taque acumulador 200l	1	325	325
Panel solar placa plana	1	350	350
Estructura para sistema solar placa plana	1	100	100
Sistema de control	1	89	95
Relé 220V	1	29	34
Resistencia eléctrica 220V	1	59	62
Total		TOTAL	966

Autores: Hernández & Vergara, 2016

Aquí se detallan todos los elementos necesarios para la instalación hidráulica del sistema.

Tabla 32. Costos de elementos de plomería

ACCESORIOS DE PLOMERIA			
Descripción	Cant.	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Tubería 1/2" para agua caliente 6m	12	8,16	97,92
Reducciones 3/4" a 1/2"	2	1,26	2,52
Codo 90° 1/2"	12	0,56	6,72
Unión 1/2"	2	0,72	1,44
T 1/2"	1	0,82	0,82
Universal 1/2"	2	0,65	1,3
Neplo Corrido 1/2"	2	0,45	0,9
Teflón Industrial	4	2,43	9,72
Manguera para agua caliente 3/4" * 75 cm	1	12,36	12,36
		TOTAL	133,7

Autores: Hernández & Vergara, 2016

Los elementos utilizados para la instalación y funcionamiento del sistema eléctrico se detallan a continuación:

Tabla 33. Costos de elementos de electricidad

ELEMENTOS DE ELECTRICIDAD			
Descripción	Cant.	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Canaletas blancas 1/2"	6	1,19	7,14
Cable solido #10	12	1,38	16,56
Cinta Taipe	2	0,47	0,94
Breaker sobrepuesto 30 Amp	2	3,86	7,72
TOTAL			32,36

Autores: Hernández & Vergara, 2016

Finalmente, como costos varios se incluye la mano de obra, transporte, elementos para la fijación del sistema entre otros.

Tabla 34. Costos de elementos varios

OTROS ELEMENTOS			
Descripción	Cant.	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Perno con terca 1/4*1"	1	0,52	0,52
Perno con terca 1/4*3/4"	2	0,48	0,96
Perno de expansión 1/4*1/4"	14	0,3	4,2
Angulo para esquina 3"	1	2,37	2,37
Broca de concreto 1/4"	1	1,78	1,78
Costos Varios	1	150	150
TOTAL			159,83

Autores: Hernández & Vergara, 2016

Todos los precios anteriores son sin IVA sumando los valores totales de cada tabla y aplicando el IVA se obtiene que el costo total de la instalación, que es de USD **\$1472,75**.

4.2 Amortización del sistema

4.2.1 Ahorro GLP

Según el Ministerio de Hidrocarburos el precio oficial de un tanque de 15kg de GLP en el Ecuador es de \$1,6 dólares, (2014) este precio se debe a que el estado está subsidiando el precio del GLP, en el año 2018 el gobierno dejará de subsidiar el GLP por lo cual, “un tanque de GLP de 15kg pasará a costar \$12 dólares teniendo un aumento de precio de 650%” (El Telégrafo , 2013) por lo que tendrá un impacto económico en las familias ecuatorianas.

Según la revista líderes el consumo promedio de GLP en un hogar en el Ecuador es de 2 tanques de 15 kg al mes. (2012)

Con estos datos se puede sacar un estimado del ahorro anual que se obtiene con la utilización del sistema solar híbrido, por lo tanto:

Ahorro mensual:

$$Ahorro = 2 \times 12 = 24 \text{ USD}$$

Ahorro Anual:

$$Ahorro = 24 \times 12 = 288 \text{ USD}$$

4.2.2 Ahorro Energía Eléctrica

Como se calculó en el anterior capítulo el costo de un kWh es de USD \$0,0904, tomando como referencia un sistema de calentamiento que usa exclusivamente energía eléctrica como el caso de las duchas eléctricas según el Organismo Supervisor de la Inversión en Energía (OSINERG) usan 3,5kW, tomando que 4 personas usan la ducha en el día un promedio de 10 min al día, se obtiene el gasto energético:

Ahorro mensual:

$$Ahorro = (3,5 \times (0,166 \times 30)) = 17,5 \text{ kWh}$$

$$Ahorro = 17,5 \times 4 = 70 \text{ kWh}$$

Ahorro Anual:

$$Ahorro = 70 \times 12 = 840 \text{ kWh}$$

$$Ahorro = 75,9 \text{ USD}$$

4.3 Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR)

Se le puede definir como la tasa mínima de ganancia que una persona, gobierno, empresa se espera obtener para la inversión que se desea realizar. Se lo puede calcular mediante: (Navarro, s.f.)

$TMAR = \text{tasa de inflación} + \text{premio al riesgo}$

$$TMAR = f + i + (i \times f) \quad \text{Ec.53}$$

Donde:

f = Inflación

i = Premio al riesgo

Tomando los datos del Banco Central del Ecuador se obtiene una inflación promedio de 2,85% y con una rentabilidad promedio del sector de la metalmecánica de un 5,6% se obtiene la TMAR que será utilizada para los cálculos del VAN, TIR, R C/B entre otros.

$$TMAR = 2,85 + 5,6 + (5,6 \times 2,85)$$

$$TMAR = 9,34\%$$

4.4 Flujo Efectivo

Se define como los ingresos y egresos netos del proyecto, en este se incluye el ahorro que produce el sistema además de los gastos por mantenimiento, depreciación del equipo.

Ingresos anuales:

Ahorro GLP + Ahorro Energía Eléctrica= 380,55 USD

Egresos anuales:

Mantenimiento:

Dado que el equipo por su ubicación no necesita mayor mantenimiento salvo limpiar el colector solar cada tres meses se tomará como 15 USD anuales.

- Gasto Energía Eléctrica:

Debido a la ausencia de energía solar o alta demanda de agua caliente, además del sistema de eliminación de bacterias en el tanque de acumulación el sistema eléctrico entrará en funcionamiento 4 veces al mes.

Gasto mensual:

$$\text{Consumo} = 10,45 \times 4 = 41,8 \text{ kWh}$$

Gasto Anual:

$$\text{Consumo} = 41,8 \times 12 = 501,6 \text{ kWh}$$

$$\text{Consumo} = 501,6 \times 0,0904 = 45,34 \text{ USD}$$

- Costo por depreciación:

Se tomará el método lineal suponiendo para el cálculo que es una función constante del tiempo. (Line, 2008)

$$\text{depreciación} = \frac{\text{Valor a depreciar}}{\text{Vida útil}} \quad \text{Ec.54}$$

$$\text{depreciación} = \frac{1472,75}{20}$$

$$\text{depreciación} = 73,64\text{USD}$$

Flujo efectivo= Ingresos – Egresos

Flujo efectivo= 380,55– (15+45,34+73,64)

Flujo efectivo= \$246,57 USD

4.5 Valor Presente Neto (VPN)

Es un valor monetario que se trae del futuro al presente, si el valor presente neto es positivo la inversión deberá realizarse y si es negativo deberá rechazarse. (Navarro, s.f.)

4.6 Valor Actual Neto (VAN)

“El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia.” (CreceNegocios, 2014)

$\text{VAN} > 0 \rightarrow$ El proyecto es rentable

$\text{VAN} < 0 \rightarrow$ El proyecto no es rentable

$\text{VAN} = 0 \rightarrow$ El proyecto no producirá ni ganancias ni pérdidas

4.7 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La TIR es aquella tasa que hace el VAN igual a cero, por lo tanto, esta mide la rentabilidad como un porcentaje, que se calcula sobre los saldos no recuperados en cada periodo. (Guzman, 2011)

$TIR > TMAR \rightarrow$ Se debe aceptar el proyecto

$TIR < TMAR \rightarrow$ Se debe rechazar el proyecto

$TIR = TMAR \rightarrow$ Tasa mínima aceptable de retorno

4.8 Payback

El packback nos muestra el plazo de recuperación, el tiempo requerido para recuperar el monto inicial de una inversión capital.

4.9 Relación Beneficio-Costo (B/C)

Otro criterio utilizado para la evaluación de proyectos es la relación costo-beneficio, que compara de forma directa los beneficios y los costes. (Ucañán, 2015)

Para lo cual se siguen los siguientes criterios:

$B/C > 1$ Los beneficios superan los costes, el proyecto es rentable

$B/C = 1$ Los beneficios son iguales a los costes

$B/C < 1$ Los beneficios son menores a los costes, el proyecto no es rentable

Para realizar los cálculos de los métodos anteriormente mencionados utilizaremos el software de Microsoft Excel, con lo cual se resume en la siguiente tabla:

Tabla 35. Síntesis de resultados proyecto panel solar

TMAR 0,0934

AÑOS	FLUJO EFECTIVO	VPN	Payback
0	-1472,75	\$-1.472,75	
1	246,57	\$225,51	\$-1.226,18
2	246,57	\$206,24	\$-979,61
3	246,57	\$188,63	\$-733,04
4	246,57	\$172,51	\$-486,47
5	246,57	\$157,78	\$-239,90
6	246,57	\$144,30	\$6,67
7	246,57	\$131,97	\$253,24
8	246,57	\$120,70	\$499,81
9	246,57	\$110,39	\$746,38
10	246,57	\$100,96	\$992,95
11	246,57	\$92,34	\$1.239,52
12	246,57	\$84,45	\$1.486,09
13	246,57	\$77,23	\$1.732,66
14	246,57	\$70,64	\$1.979,23
15	246,57	\$64,60	\$2.225,80
16	246,57	\$59,08	\$2.472,37
17	246,57	\$54,04	\$2.718,94
18	246,57	\$49,42	\$2.965,51
19	246,57	\$45,20	\$3.212,08
20	246,57	\$41,34	\$3.458,65
			\$-0,97

Autores: Hernández & Vergara, 2016

Por lo tanto, se obtiene:

$VAN = \$724,59 > 0 \rightarrow$ Proyecto rentable

$TIR = 16\% > TMAR \rightarrow$ Proyecto rentable

$R B/C = 1,49 > 1 \rightarrow$ Proyecto rentable

$PAYBACK = 5,97$ Años en amortizar la inversión del proyecto

CONCLUSIONES

- Como resultado del análisis del sistema se determinó que la eficiencia del sistema evaluado fue de 65.33% y un colector de 2 m² es suficiente para abastecer una familia de cuatro personas con una capacidad de almacenamiento de 200 litros, pudiendo reemplazar al sistema de calefón y siendo este sistema más amigable con el medio ambiente ya que para el calentamiento no se genera ningún tipo de combustión.
- Se determinó que la utilización y selección de los elementos como el sistema computarizado y el colector a 18° se pudo obtener condiciones mucho mejores que las obtenidas anteriormente con un sistema de GLP y que utilizando materiales con baja emisividad, se reduce las pérdidas de calor en el colector, con lo cual aumentaría la eficiencia del sistema.
- Mediante el periodo de prueba del sistema se obtuvo un resultado positivo al reemplazar por completo el uso de GLP como combustible principal para el calentamiento de agua sanitaria. Con las condiciones climáticas normales en la ciudad de Quito, el sistema alcanzó una temperatura máxima de 70°C, sin la necesidad del uso del sistema auxiliar de calentamiento.
- Se determinó que el ángulo de inclinación no afecta en gran medida la eficiencia del colector solar ya que con un ángulo de inclinación a 18° se obtuvo una eficiencia del 53,4%, mientras con una inclinación de 45° se obtuvo una eficiencia del 54,1%, determinando que influye en mayor medida la orientación del colector que en nuestro caso es hacia el sur.
- Mediante una inversión inicial de USD 1472 y por medio del análisis económico del VAN, TIR y relación beneficio costo se concluye que los beneficios superan los costos por lo tanto el proyecto es rentable dando un ahorro anual de USD 246, siempre y cuando el subsidio del gas en las familias ecuatorianas se elimine dando así beneficios a medio plazo y amortizando la inversión inicial en 6 años, con una vida útil del sistema de 20 años.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el sistema pueda adoptar varios ángulos de inclinación, para analizar el comportamiento de la eficiencia en distintos ángulos y que la superficie del colector pueda rotar en función de la posición del sol.
- Se puede pintar las tuberías de un color mate para que la emisividad en las tuberías descubiertas sea menor y directamente proporcional la pérdida de calor en la tubería se más insignificante.
- Como recomendación esta la instalación de un sistema de control de volumen dentro del tanque, con la finalidad de poder controlar en ingreso del agua al tanque con una electroválvula para que el decaimiento de la temperatura al mezclar agua fría y agua caliente sea menor y por la energía se aproveche de mejor manera.
- Se recomienda la implementación de un panel solar fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el sistema híbrido y analizar el rendimiento en condiciones climáticas desfavorables como días nublados y lluviosos.
- Se recomienda utilizar un fluido que presenten un calor específico elevado, temperatura de ebullición alta, temperatura de congelación alta, protección frente a la corrosión y que sea compatible con los materiales utilizados en la construcción del sistema.

Referencias

- A. P. (16 de Febrero de 2012). *gnvblog*. Obtenido de <https://gnvblog.wordpress.com/2012/02/16/caracteristicas-de-los-gases-licuados-del-petroleo-glp/>
- Agencia de Regulación y control de Electricidad. (16 de Enero de 2015). *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*. Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/AtlasSectorElectricoEcuatoriano2014B.pdf>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (11 de 05 de 2016). *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*. Obtenido de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/EstadisticaAnualYMultianualDelSectorElectricoEcuatoriano.pdf>
- Agencia de regulación y control hidrocarburífero. (2 de Febrero de 2014). Recuperado el 26 de Abril de 2016, de <http://www.scpm.gob.ec/wp-content/uploads/2014/02/2.1-Henry-Alb%C3%A1n-ARCH-Comercializacion-de-GLP-en-el-Ecuador.pdf>
- Agencia de regulación y control hidrocarburífero. (2 de Febrero de 2014). *Superintendencia de control del poder de mercado*. Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://www.scpm.gob.ec/>
- Agencia de regulación y control hidrocarburífero. (2 de Febrero de 2014). *Superintendencia de control del poder de mercado*. Recuperado el 26 de abril de 2016, de <http://www.scpm.gob.ec/wp-content/uploads/2014/02/2.1-Henry-Alb%C3%A1n-ARCH-Comercializacion-de-GLP-en-el-Ecuador.pdf>
- Agencia de regulación y control hidrocarburífero. (5 de Agosto de 2016). *Boletín estadístico*. Recuperado el 6 de 10 de 2016, de http://www.controlhidrocarburos.gob.ec/wp-content/uploads/2016/08/ESTADI%CC%81STICAS-ARCH-2015_2016-07-15_Publicar.pdf
- Ayompe, L., & Duffy, A. (2013). Analysis of the thermal performance of a solar water heating system with flat plate collectors in a temperate climate. *Applied Thermal Engineering*. Obtenido de <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2240/S1359431113003335/1-s2.0->

- S1359431113003335-main.pdf?_tid=3caceb6e-b425-11e6-9197-00000aab0f02&acdnat=1480198450_d9101b08ec84cb4f1d0e6b78b4ab8120
- Ayuntamiento de Pamplona. (2008). Energía solar térmica y fotovoltaica. Obtenido de http://www.pamplona.es/pdf/guia_energia_solar.pdf
- B. J., A. S., & N. A. (2016). Estimation of solar radiation and optimum tilt angles for south-facing surfaces in Humid Subtropical Climatic Region of India. *Engineering Science and Technology, an International Journal*.
- C. C., M. V., F. T., & G. D. (2016). Software for design of solar water heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- C. L. (2010). *Solar Domestic Water Heating*. Washington DC: earthscan.
- C. S., & D. S. (2014). Optimum tilt angle for flat plate collectors all over the World – A declination dependence formula and comparisons of three solar radiation models. *Energy Conversion and Management*, 135.
- Camilloni, I. (s.f.). *Conicet Mendoza*. Recuperado el 11 de 10 de 2016, de <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/GasesEfect.htm>
- Cedeño, Z., & Villacrés, M. E. (16 de Septiembre de 2013). Estimación de perjuicio al estado causado por el subsidio otorgado al consumo del gas licuado de petróleo o GLP en el Ecuador y la incidencia de su comercio irregular hacia Colombia y Perú. *Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero en administración de procesos*. Quito, Pichincha, Ecuador: Universidad Politécnica Nacional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6741/1/CD-5120.pdf>
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa*. México: McGraw-Hill.
- Censolar. (s.f.). *Censolar*. Obtenido de <http://www.censolar.edu/>
- Chapman, A. (1984). *Transmisión del Calor*. Bellisco.
- Chen, J. (2011). *Physics of Solar Energy*.
- Chwieduk, D. (2014). *Solar Energy in Buildings*.
- Comercio, E. (30 de 06 de 2014). *Diario El Comercio*. Recuperado el 04 de 10 de 2016, de <http://www.elcomercio.com/actualidad/subsidio-gas-2017-cocinas-induccion-electricidad.html>
- Comisión Nacional de los mercados y las competencias . (2015). *Comisión Nacional de los mercados y las competencias* . Recuperado el 11 de noviembre de 2015, de <http://www.cnmc.es/es-es/energ%C3%ADa/consumidores/glpbutanopropano.aspx>

- Corporación para la Investigación Energética . (26 de Septiembre de 2013). *Agencia de Regulación y Control de Electricidad*. Recuperado el 25 de Abril de 2016, de <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/>
- Crazy Calculations. (s.f.). Obtenido de http://crazycalculations.com/temp_increase/index_sp.php
- Crazy Calculations. (s.f.). Obtenido de http://crazycalculations.com/water_tanks/index_sp.php
- CreceNegocios. (2014). Obtenido de <http://www.crecenegocios.com/el-van-y-el-tir/>
- D. R. (2014). *Transferencia de calor y materia*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/tcmdefiunjsj/tema-3>
- Desarrollo, P. d. (2016). *Programas de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Obtenido de <http://www.ec.undp.org/content/ecuador/es/home/presscenter/articles/2015/11/23/ecuador-trabaja-en-estrategias-para-reducir-niveles-de-gases-de-efecto-invernadero-.html>
- Duffie, J., & Beckman, W. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey.
- El Telégrafo . (2013). Obtenido de <http://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/8/el-88-del-glp-de-consumo-interno-es-importado>
- Empresa Eléctrica Quito. (2016). Obtenido de <http://www.eeq.com.ec:8080/documents/10180/143788/Pliego+Tarifario+Enero+2016/414767b2-234d-4f10-a578-2c2990465c1f>
- F. C., S. A., F. B., & A. G. (2016). *Chemicals and Fuels from Bio - Based Building Blocks*. Bologna, Italia.
- Fauroux, L., Díaz, D., Blanco, D., & Degaetani, O. (2016). MODELADO, Y ANÁLISIS ECONÓMICO DE COLECTORES SOLARES PLANOS. *Revista Digital del Departamento de Ingeniería*, 1(1). Obtenido de <http://reddi.unlam.edu.ar/index.php/ReDDi/article/view/8/35>
- Flor, E. (2011). *Subsidios estimacion 2012-2015*. Quito: Ministerio de finanzas .
- Fuentes, D. (2009). *Instalación de colectores solares para suministro de ACS en Valencia*. Obtenido de http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7794/PFC_David_Fuentes_Cantero.pdf?sequence=1

- G. P. (21 de 11 de 2016). *Global Petrol Prices*. Obtenido de http://es.globalpetrolprices.com/lpg_prices/
- Gaglia, A., Lykoudis, S., Argiriou, A., Balaras, C., & Dialynas, E. (2017). Energy efficiency of PV panels under real outdoor conditions An experimental assessment in Athens, Greece. Obtenido de http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2240/S0960148116307522/1-s2.0-S0960148116307522-main.pdf?_tid=621261ac-b422-11e6-aa36-00000aacb360&acdnat=1480197225_3d13746254970ff1444119d1728d6139
- Gobierno Ecuatoriano. (25 de Mayo de 2012). *Ministerio de Hidrocarburos*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2015, de <http://www.hidrocarburos.gob.ec/se-cumplio-control-y-venta-directa-de-glp-domestico-en-quito/>
- Google Maps. (17 de Diciembre de 2015). *Google maps*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2016, de <https://www.google.com.ec/maps/@-0.0852292,-78.4409939,19z>
- Grado en Ingeniería Mecánica*. (2014). Obtenido de https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/455/42611/1/Documento63.pdf
- Guzman, C. (2011). *Matemáticas Financieras*. Obtenido de <http://matematicasfinancierascag.blogspot.com/2011/02/flujo-de-caja-libre-o-de-efectivo-valor.html>
- H. S. (2013). *Chemistry of fossil fuels and biofuels*. Pennsylvania.
- Hernández, X., & Vergara, D. (2016). Diagrama Causa Efecto.
- Holman, J. P. (1999). *Transferencia de Calor*. México: Continental S.A.
- I. S. (1995). *Mecánica de Fluidos*. Bogotá: McGraw Hill.
- Incropera, F., & DeWitt, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de calor*. México: Prentice Hall.
- Ingeniería, R. A. (s.f.). Obtenido de <http://diccionario.raing.es/es/lema/n%C3%BAmero-de-rayleigh>
- Innergy. (2012). *innergy Soluciones Energéticas*. Obtenido de <http://www.innergy.cl/quees.htm>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2015). *Información Ambiental en Hogares*. Obtenido de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2015/DOCUMENTO_TECNICO_ENEMDU_MODULO_AMBIENTAL_2015.pdf

- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2012). Anuario Meteorológico. Obtenido de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202012.pdf>
- Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR). (2012). *Instituto Oceanográfico de la Armada*. Recuperado el 2016, de http://www.inocar.mil.ec/docs/derrotero/derrotero_cap_I.pdf
- International Energy Agency. (2011). *Solar Energy Perspectives*. Paris.
- J. D., & W. B. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wisconsin.
- J. M., & M. U. (2013). *Enviromental Physics*. San Diego. Obtenido de <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2051/lib/bibliotecaups/reader.action?docID=10744533>
- J. P. (2013). *Javier Ponce Formación Técnica*. Obtenido de <http://javiponce-formatec.blogspot.com/2013/12/calculo-de-tuberias-de-agua-fria-afs-y.html>
- Jiménez, J., & Chacha, H. (2014). *Diseño, implementación y monitoreo de calentadores híbridos con energía soalr-glp y energía solar-calentadores eléctricos para la obtención de agua caliente sanitaria*. Cuenca.
- K. H. (2013). Solar Energy - Water Heating. En K. Hudon, *Chapter 20. Solar Energy – Water Heating*.
- K. M., & R. C. (2017). A review on analysis and development of solar flat plate collector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Obtenido de http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2240/S136403211630569X/1-s2.0-S136403211630569X-main.pdf?_tid=6b4a7960-b424-11e6-a575-00000aacb35f&acdnat=1480198099_8ae7b611dd16f7cc8c1a347c70ba8e06
- L. B. (2012). *Cubasolar*. Obtenido de <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia55/HTML/Articulo05.htm>
- L. E., Jager, & Mariano. (s.f.). *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL*. Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2013/trabajos/COA05_TC.pdf
- Line, E. O. (2008). *Económicas On Line*. Obtenido de <http://www.economicas-online.com/bienesde5.htm>
- Lipigas. (2013). *Lipigas*. Obtenido de <https://www.lipigas.cl/atencion-al-cliente/preguntas-frecuentes>
- Lorenti, J. (1 de Noviembre de 2007). *Agencia Espacial Civil Ecuatoriana*. Recuperado el 04 de 10 de 2016, de <http://uv.exa.ec/infografia.htm>

- M. E., H. H., M. W., & P. A. (2016). SunCalculator_ A program to calculate the angular and spectral distribution of direct and diffuse solar radiation. *Solar Energy Materials & Solar Cells*.
- Mesa, F. (1981). *Colector Solar de Placa Plana*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4902628>
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (05 de 01 de 2015). Recuperado el 30 de 09 de 2016, de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/01/Resumen-Balance-Energe%CC%81tico-20151.pdf>
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (5 de 01 de 2015). *Balance Energético Nacional 2015*. Recuperado el 30 de 09 de 2016, de <http://www.sectoresestrategicos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/01/Balance-Energe%CC%81tico-Nacional-2015-parte1.pdf>
- Ministerio de Finanzas. (2015). Programación presupuestaria 2012- 2015. Obtenido de http://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/PROGRAMACION_PRESUPUESTARIA_2012-2015.pdf
- Ministerio de Fomento. (2013). *Certificados Energéticos*. Obtenido de http://www.certificadosenergeticos.com/wp-content/uploads/2015/12/Doc_CTE_HE_Ahorro_Energ%C3%ADa.pdf
- Ministerio de Hidrocarburos. (2014). Obtenido de <http://www.hidrocarburos.gob.ec/subsidio-y-precio-de-gas-licuado-de-petroleo-se-mantienen/>
- Navarro, M. (s.f.). Obtenido de <https://mauricionavarrozeledon.files.wordpress.com/2012/11/unidad-no-iii-tmar-vpn-pri-y-tir1.pdf>
- P. F. (s.f.). *Ingeniería Energética*. Obtenido de <http://es.pfernandezdiez.es/libro/?id=3>
- P. H. (09 de 04 de 2014). Obtenido de <https://pedrojhernandez.com/2014/04/09/caracteristicas-termicas-de-los-materiales/>
- Pésantez Encalada, J. (2014). *Reducción de costos en el calentamiento de agua en Ecuador, a través de la sustitución de calefones con uso de GLP por sistemas de energía solar térmica*. La Libertad. Obtenido de

- http://www.incyt.upse.edu.ec/revistaupse1/index.php?option=com_content&view=article&id=70&Itemid=143
- Petrolera, C. (13 de 05 de 2013). *La Comunidad Petrolera*. Obtenido de <http://www.lacomunidadpetrolera.com/2013/05/diferencias-entre-el-gas-natural-el-gas-licuado-de-petroleo.html>
- R Wang, & T Ge. (2016). *Advances in solar heating and cooling*.
- R. D., & A. S. (2016). Energy-exergy analysis of a multipurpose evacuated tube heat pipe solar water heating-drying system. *Experimental Thermal and Fluid Science*. Obtenido de http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2240/S0894177716301534/1-s2.0-S0894177716301534-main.pdf?_tid=410feca4-b427-11e6-863f-00000aacb35f&acdnat=1480199317_3ce91b1a77070204050547b332a0a2b3
- R. M. (2006). *Mecánica de fluidos*. México : Pearson.
- RapidTables. (s.f.). Obtenido de http://www.rapidtables.com/convert/energy/kWh_to_Joule.htm
- Revista Líderes. (2012). Obtenido de <http://www.revistalideres.ec/lideres/subsidio-opaca-negocio-gas.html>
- S. E. (21 de 07 de 2013). *Eliseo Sebastián*. Obtenido de <http://eliseosebastian.com/radiacion-solar-irradiancia-e-insolacion/>
- S. G. (2003). *Teoría para el Diseño de Calentadores de Agua*. Obtenido de <http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/miscela/iTeoriacalienta.pdf>
- S. K. (2014). *Solar Energy Engineering*. San Diego: Elseiver.
- Samaniego Rascón, D., Ferrera D., A., & Gameiro da Silva, M. (2016). Occupational exposures to solar radiation in concentrated solar power systems_ A general framework in central receiver systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Obtenido de <http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2229/science/article/pii/S1364032116302702>
- Sharon, Y. W. (2016). *Performance teste report*.
- SIDITE Solar Water Heater. (2009). *SIDITE*. Obtenido de http://www.sidite-solar.com/solar_water_heater5.html
- solar water heater. (s.f.). *Solar Water Heater*. Obtenido de <http://www.solarwaterheater.es/2-7-flat-plate-solar-collector.html>
- Stackhouse, P. (2016). *Atmospheric science data center*. Obtenido de NASA: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?&num=102090&lat=->

- 0.085&hgt=100&submit=presentar&veg=17&sitelev=&email=&p=grid_id&p=midday_dwn&p=swv_dwn&p=ret_tlt0&step=2&lon=-78.44
- Tareas Ingeniería Química*. (05 de Febrero de 2016). Obtenido de <http://tareasingenieriaquimica.blogspot.es/tags/numeros-adimensionales/>
- TYP Mediciones. (2012). *TYP Mediciones*. Obtenido de <http://www.typmediciones.com/termometros/termometro-infrarrojo-typ-301.html>
- Ucañán, R. (2015). Obtenido de <http://www.gestiopolis.com/calculo-de-la-relacion-beneficio-coste/>
- Uni - Industries. (2015). *Cut Price Solar*. Obtenido de <http://www.cutpricesolar.com.au/product/240w-bosch-solar-panel-kit/>
- Universidad de Sevilla. (2015). *Departamento de Física Aplicada III*. Obtenido de http://laplace.us.es/wiki/index.php/Calentamiento_de_agua_con_una_resistencia
- Vásconez, F. (2013). Obtenido de <http://plutoindolente.blogspot.com/2013/08/sobre-las-cocinas-de-induccion.html>
- Wallace, C. (2015). *Cooper Atkins Corporation* . Obtenido de http://www.cooper-atkins.com/Customer-Content/WWW/CMS/files/documentation/catalogs/2015_General_Product_Catalog_Spanish_low_res.pdf
- Wilson, J. (30 de Julio de 2015). *National Aeronautics and Space Administration*. Recuperado el 26 de Abril de 2016, de <https://www.nasa.gov>
- Y. C., & J. C. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: Mc Graw Hill.
- Z. L., & A. F. (2016). Thermal analysis of a heat pipe solar central receiver for concentrated solar power tower. *Applied Thermal Engineering*. Obtenido de http://bibliotecavirtual.ups.edu.ec:2240/S1359431116305294/1-s2.0-S1359431116305294-main.pdf?_tid=5c872e7a-d295-11e6-9232-00000aacb362&acdnat=1483545142_424f26c500f7750feeae58d14f71742f

ANEXOS

Anexo 1: Ficha técnica colector solar

1.6 Collector (For Tube)

Type:

☒ Flat plate

☐ Evacuated tube

Collector Keymark lic. No SP SC0740-16

System model:	JDL-FPS/P 150	JDL-FPS/P 200	JDL-FPS/P 250A	JDL-FPS/P 250B	JDL-FPS/P 300
Collector Model:	JDL-PG2.0-80	JDL-PG2.5-80	JDL-PG2.5-80	JDL-PG2.0-80	JDL-PG2.0-80
length (gross) (mm)	2000	2000	2000	2000	2000
Collector width (gross)(mm):	1000	1250	1250	1000	1000
Riser tube distance(mm)	102	102	102	102	102
Number of covers:	1	1	1	1	1
collector in the system	1	1	1	2	2
Apeture area (m2)	1.81	2.31	2.31	1.81x2	1.81x2
Cover material	Low-carbon toughened glass				
Cover thickness (mm)	3.2				
Insulation material/thickn ess	glass wool/ 30mm				
Casing material	Aluminum alloy				

1.7 Absorber

System model:	JDL-FPS/P 150	JDL-FPS/P 200	JDL-FPS/P 250A	JDL-FPS/P 250B	JDL-FPS/P 300
Collector Model	JDL-PG2.0-80	JDL-PG2.5-80	JDL-PG2.5-80	JDL-PG2.0-80	JDL-PG2.0-80
riser tube diameter (mm)	10mm				
Material(s):	copper				
Construction type:	Fence shape				
Surface treatment:	blue coating				
dimension(mm)	950x1950	1200x1950	950x1950	1200x1950	950x1950x2

Fuente: (Sharon, 2016)

Anexo 2: Instrumentos de recolección de datos

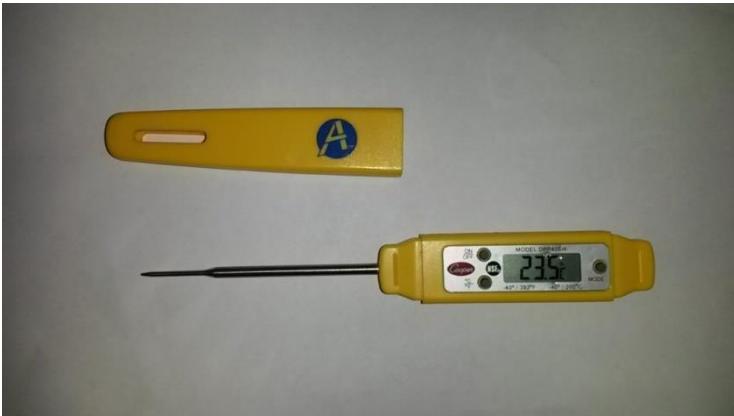
Termómetro Infrarrojo







Dimensiones	Medidor: 146 x 80 x 38 mm
Rango de temperatura	Entre - 32 °C a 300 °C
Precisión	Entre - 32 °C a 0 °C --- $\pm 3^{\circ}\text{C}$ Entre 0 °C a 100 °C --- $\pm 2^{\circ}\text{C}$ Por encima de 100 °C --- $\pm 2^{\circ}\text{C}$ o $\pm 2\%$ (el mayor de las 2)
Resolución	0.1 °C
Repetitividad	1 % de la lectura o 0.1 °C
Peso	Aproximadamente 130 g.
Tiempo de respuesta	500 mseg, 95% de las respuestas
Respuesta espectral	8 – 14 μm
Emisividad	Preseleccionado a 0.95 (No se puede cambiar)
Temperatura de trabajo	0 °C ~ 40 °C (<80%RH)
Temperatura de almacenamiento	- 20 °C ~ 60°C (<70%RH)
Alimentación	2 Pilas de 1.5V AAA.
Vida de la batería	Con el laser conectado sobre 12 horas.
Relación de la distancia con respecto al punto de medición	12 : 1

Fuente: (TYP Mediciones, 2012)

Termómetro digital



	DFP450W	DPP400W
Rango de temperatura:	De -40° a 232 °C (de -40° a 450 °F)	De -40° a 200 °C (de -40° a 392 °F)
Precisión:	±1°C (±2°F)	±1°C (±2°F)
Resolución:	0,1°	0,1°
Pantalla - LCD	22 mm (0,875")	22 mm (0,875")
Longitud de la varilla:	121 mm (4,75")	70 mm (2,75")
Energía:	(1) 1,5V LR44	(1) 1,5V LR44
Apagado automático:	Sí (después de 10 min.)	Sí (después de 10 min.)
Peso:	20 g (0,7 oz)	28 g (1 oz)
Clasificación de resistencia al agua	IPX7	IPX7
Lista de regulaciones:	CE   RoHS	CE   RoHS
Garantía:	Vida útil	Vida útil

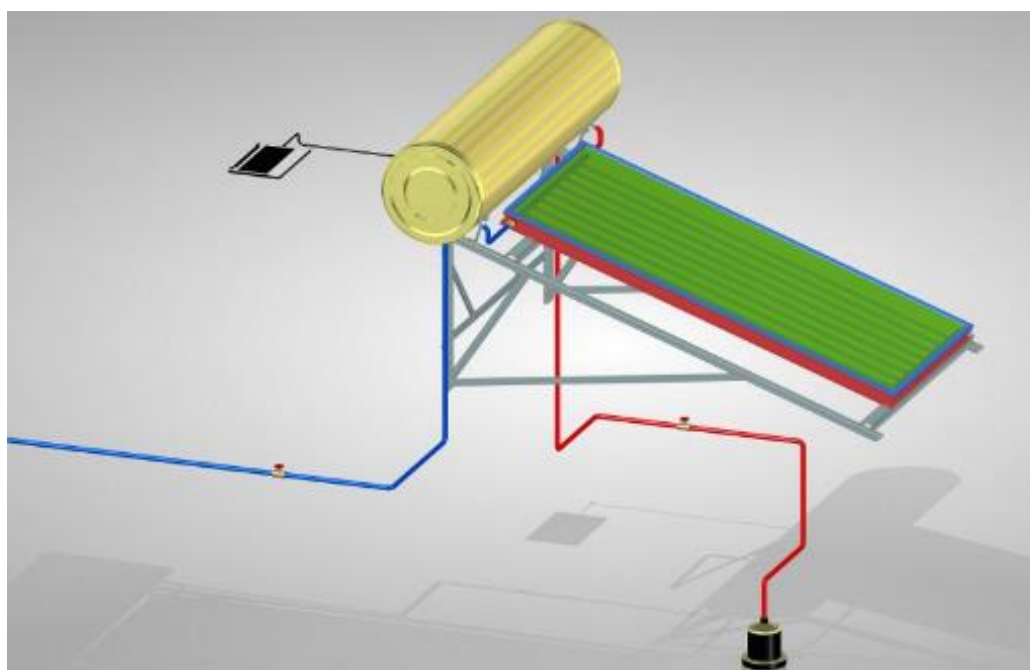
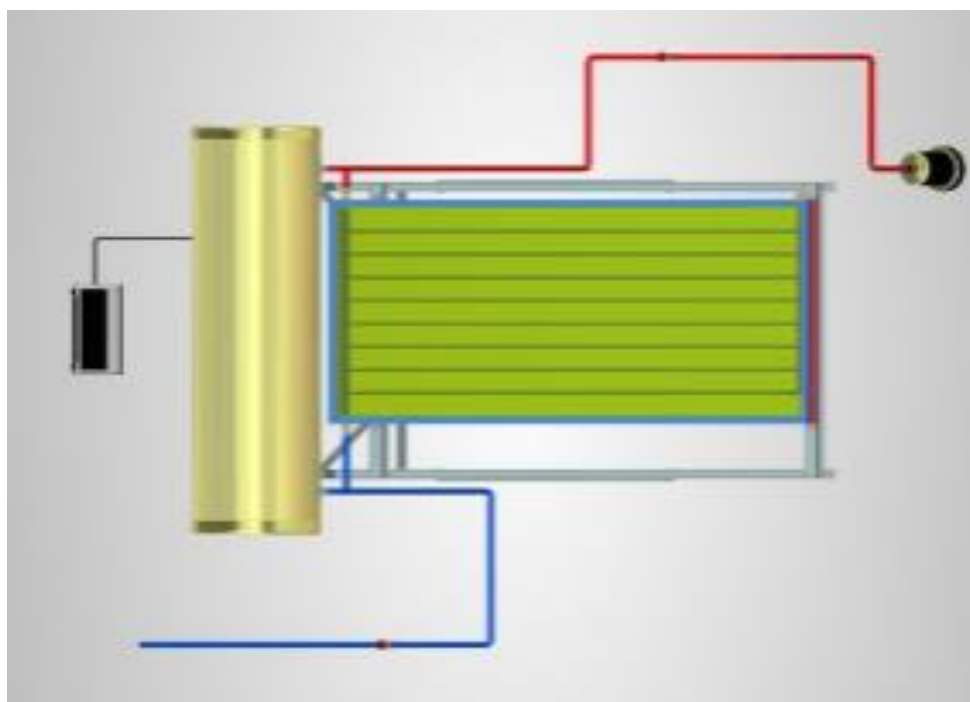
Fuente: (Wallace, 2015)

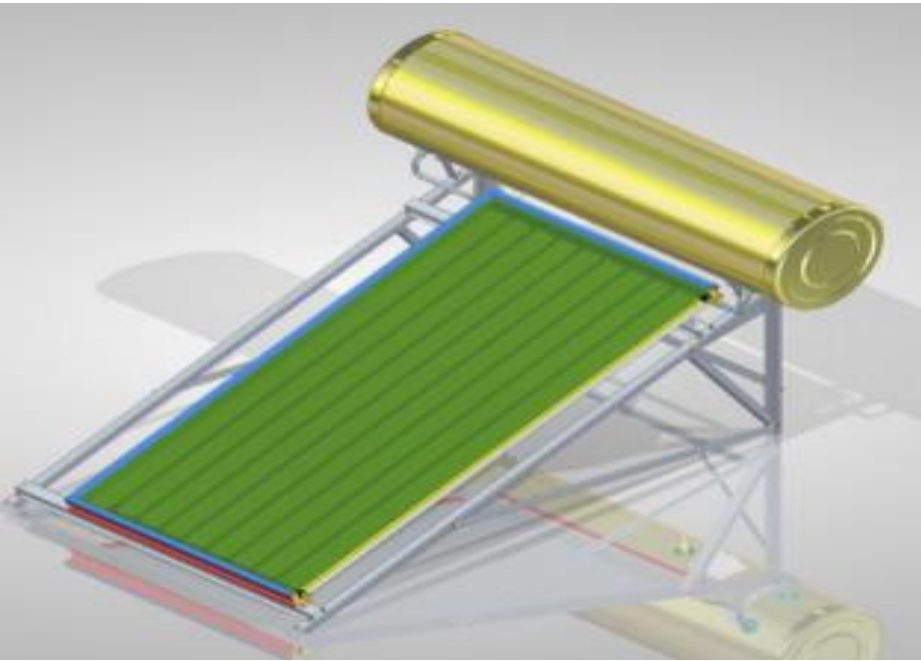
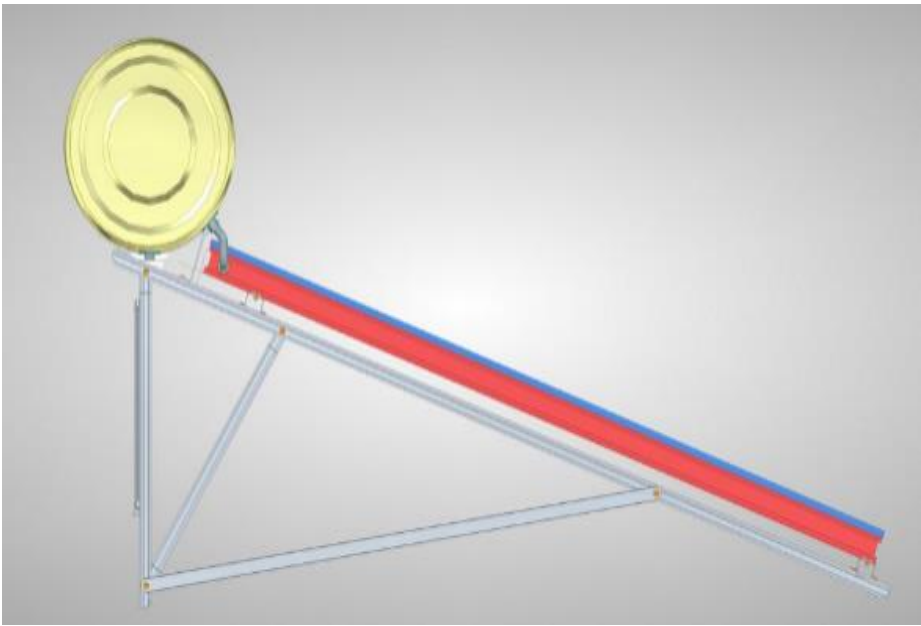
Anexo 3: Fotos de sistema





Anexo 4: Esquema del sistema





Anexo 5: Planos